



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA QUE INGRESA A  
LA PLANTA DE COMPOSTA DE BORDO PONIENTE DE LA CIUDAD  
DE MÉXICO**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICO**

**PRESENTA**

**JUAN ANTONIO REYNA PÉREZ**



**Ciudad Universitaria, CDMX**

**2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: Profesor: Irma Cruz Gavilán García**

**VOCAL: Profesor: María Rafaela Gutiérrez Lara**

**SECRETARIO: Profesor: Gema Luz Andraca Ayala**

**1er. SUPLENTE: Profesor: Alejandra Mendoza Campos**

**2° SUPLENTE: Profesor: Claudia Inés Rivera Cárdenas**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**UNIDAD DE GESTIÓN AMBIENTAL, LABORATORIO ANEXO 2-D, EDIFICIO A, FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**Irma Cruz Gavilán García**

**SUSTENTANTE:**

---

**Juan Antonio Reyna Pérez**

## DEDICATORIA

A mi madre, Ilser Pérez Tovilla.

Por siempre haber confiado en mí y apoyarme sin condiciones; por creer en mí incluso cuando yo mismo no lo hacía. Por tus palabras de apoyo incansables, los regaños merecidos, por la libertad de tratarnos sin jerarquías y poder reír o llorar juntos sin tapujos. Por hacer hasta lo imposible para que yo tenga una vida plena y feliz. Pero sobre todas las cosas por siempre haberme demostrado tu inmenso amor y comprensión, aún en los peores momentos que has pasado. Las palabras parecen perder valor al tratar de exteriorizar todo lo agradecido que estoy contigo y lo feliz que he sido y soy debido a ti. Te amo, jefecita.

A mi hermano, José Reyna Pérez.

Por ser compañero de batallas y compartir las alegrías, tristezas, carencias, bonanza y aspiraciones durante este viaje llamado vida. Por las pláticas de madrugada en las que hemos querido cambiar el mundo; por el cuidado y cariño que siempre me demuestras. Y principalmente, porque no es la mera casualidad genética y social la que nos hace hermanos, es la elección consciente que hacemos al involucrarnos mutuamente. Deseo que tengas una vida muy feliz y solo tus elecciones y trabajo constante lo harán posible. Mucho mijo. Te amo, carnal.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la sociedad mexicana en general, porque a través de sus contribuciones e instituciones he podido acceder a una educación de calidad de forma gratuita. Ahora retribuiré, en la mejor y mayor medida, un poco de todo lo que me han brindado; es la única forma que tengo de pagarles.

A la Facultad de Química y el personal académico que lo conforma, puesto que me han brindado las herramientas necesarias para mi formación como profesional y mi desarrollo personal.

A la Dra. Irma Gavilán, por confiar en mi para el desarrollo de este tema y por su orientación durante mi estadía en la UGA, que no sólo fue de ayuda en la elaboración de este trabajo, sino que también me ha servido en mi desarrollo como profesional.

A los miembros de H. Jurado por las observaciones y sugerencias hechas con el fin de mejorar este trabajo.

Al programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) clave PE109716, por el financiamiento otorgado mediante una beca para la realización de este trabajo.

«Uno se embarca hacia tierras lejanas, o busca el conocimiento de hombres, o indaga la naturaleza, o busca a Dios; después se advierte que el fantasma que se perseguía era Uno-mismo.»

Ernesto Sábato. *Uno y el universo* (Buenos Aires, 1980).

«Take it easy, take it easy  
Don't let the sound of your own wheels drive you crazy  
Lighten up while you still can  
Don't even try to understand  
Just find a place to make your stand, and take it easy»

Eagles (Jackson Browne/Glenn Frey). *Take it Easy* (1972).

«Salido  
El poema  
No se  
Admite  
Reclamación»

Efraín Huerta. "Mercadotecnia", *Estampida de poemínimos* (Distrito Federal, 1980).

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE GRÁFICAS	III
ÍNDICE DE IMÁGENES	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	VII
GLOSARIO	VIII
1. INTRODUCCIÓN	
1.1.    Resumen	1
1.2.    Objetivo general	2
1.3.    Objetivos particulares	2
1.4.    Alcances y limitaciones	2
2. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	
2.1.    Panorama internacional	3
2.2.    Panorama nacional	4
2.3.    Marco jurídico	8
2.4.    Clasificación legal de los residuos	14
2.5.    Fracción orgánica (FORSU)	17
3. SITIO DE ESTUDIO	
3.1.    Manejo Integral de los RSU	21
3.2.    Manejo de RSU en la CDMX	22
3.2.1.    Sistemas de tratamiento	27
3.2.2.    Disposición final	34
3.3.    Bordo poniente	37
3.4.    Estudio de caso: Planta de composta	39

	Pág.
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
4.1. Material y equipo	43
4.2. Trabajo de campo	44
4.2.1. Diseño del muestreo	45
4.2.2. Toma de muestra	47
4.2.3. Determinación del peso volumétrico	48
4.2.4. División granulométrica	50
4.2.5. Selección y cuantificación de subproductos	52
4.3. Trabajo de laboratorio	54
4.3.1. Determinación de humedad	55
4.3.2. Determinación de sólidos volátiles e inertes	56
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. Trabajo de campo	58
5.1.1. Diseño del muestreo	58
5.1.2. Toma de muestra	67
5.1.3. Determinación del peso volumétrico	73
5.1.4. División granulométrica	74
5.1.5. Selección y cuantificación de subproductos	77
5.2. Trabajo de laboratorio	79
5.2.1. Determinación de humedad	79
5.2.2. Determinación de sólidos volátiles e inertes	81
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
7. BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXO	92

## Índice de Diagramas

<b>Diagrama 3.1.</b> Esquema general del proceso del tratamiento de los RSU en la CDMX.	29
<b>Diagrama 4.1.</b> Recepción de los vehículos ingresados a la PCBP.	46
<b>Diagrama 4.2.</b> Metodología del método de cuarteo, según la norma NMX-AA-015-1985.	48
<b>Diagrama 4.3.</b> Metodología para la determinación del peso volumétrico, de acuerdo con la NMX-AA-019-1985.	50
<b>Diagrama 4.4.</b> Metodología para la selección y cuantificación de subproductos de acuerdo a la norma NMX-AA-022-1985.	54
<b>Diagrama 4.5.</b> Metodología para la determinación de humedad.	56
<b>Diagrama 4.6.</b> Metodología seguida para la determinación de sólidos volátiles e inertes.	57

## Índice de Figuras

<b>Figura 2.1.</b> Generación de RSU en México por región, 2012.	7
<b>Figura 3.1.</b> Localización de las ET en la CDMX.	25
<b>Figura 3.2.</b> Localización del relleno sanitario Bordo Poniente.	38
<b>Figura 4.1.</b> Distribución de los tamices utilizados para la separación granulométrica.	52

## Índice de Gráficas

<b>Gráfica 2.1.</b> Generación mundial de residuos por región en el 2010.	4
<b>Gráfica 2.2.</b> Generación de residuos a nivel nacional en los últimos años.	5
<b>Gráfica 2.3.</b> Composición de los residuos generados en México en el año 2016.	6

<b>Gráfica 2.4.</b> Aporte delegacional a la generación diaria de residuos en la CDMX.	8
<b>Gráfica 2.5.</b> Comportamiento de la proporción de FORSU en la generación de RSU a nivel nacional.	18
<b>Gráfica 3.1.</b> Origen de los residuos que ingresan a las estaciones de transferencia.	25
<b>Gráfica 3.2.</b> Destinos de los RSU a partir de las estaciones de transferencia durante el 2015.	26
<b>Gráfica 3.3.</b> Proporción de desechos aprovechados con respecto a los ingresados a las plantas de selección en la CDMX durante el 2014.	32
<b>Gráfica 3.4.</b> Destino de los RSU hacia los rellenos sanitarios.	37
<b>Gráfica 3.5.</b> Proporción de la FORSU que ingresa anualmente a las plantas de composta de la CDMX.	41
<b>Gráfica 5.1.</b> Aporte porcentual de vehículos por ET a la PCBP.	60
<b>Gráfica 5.2.</b> Aporte porcentual de FORSU por ET a la PCBP.	63
<b>Gráfica 5.3.</b> Tendencia del contenido de humedad, sólidos volátiles e inertes para las seis fracciones.	84

## Índice de Imágenes

<b>Imagen 1.</b> Toma de la muestra de la zona de descarga.	68
<b>Imagen 2.</b> Traslado de la muestra a la zona de trabajo.	68
<b>Imagen 3.</b> Homogeneización y delimitación de los cuatro cuadrantes.	71
<b>Imagen 4.</b> Disminución del tamaño por cuarteo.	72
<b>Imagen 5.</b> Obtención de la muestra representativa.	72
<b>Imagen 6.</b> Arreglo de los tamices para el cribado.	75
<b>Imagen 7.</b> División granulométrica.	75

## Índice de Tablas

<b>Tabla 2.1.</b> Definiciones de <i>residuo</i> según la legislación mexicana.	14
<b>Tabla 2.2.</b> Subclasificación de los RSU, acorde a la legislación mexicana.	16
<b>Tabla 3.1.</b> Características operacionales de las plantas de selección de la CDMX.	31
<b>Tabla 3.2.</b> Ingreso de FORSU a las plantas de composta de la CDMX y generación de composta durante el 2015.	34
<b>Tabla 3.3.</b> Etapas que conforman el relleno sanitario de Bordo Poniente.	39
<b>Tabla 3.4.</b> Características de la Planta de Composta de Bordo Poniente en el 2014.	41
<b>Tabla 3.5.</b> Equipamiento de la Planta de Composta de Bordo Poniente.	42
<b>Tabla 4.1.</b> Descripción de las etapas del desarrollo experimental.	43
<b>Tabla 4.2.</b> División granulométrica deseada.	51
<b>Tabla 4.3.</b> Lista de subproductos seleccionados para la cuantificación por fracción.	53
<b>Tabla 5.1.</b> Vehículos que ingresaron a la PCBP entre enero y marzo del 2016.	59
<b>Tabla 5.2.</b> Contribución, por ET, al total de FORSU ingresada a la PCBP de enero a marzo del 2016.	61
<b>Tabla 5.3.</b> Ingreso de vehículos por hora a la PCBP de enero a marzo del 2016.	64
<b>Tabla 5.4.</b> Ingreso de vehículos a la PCBP por día de la semana.	65
<b>Tabla 5.5.</b> Número teórico de vehículos a muestrear por ET.	66
<b>Tabla 5.6.</b> Cálculo del número real de vehículos a muestrear por ET.	67

	Pág.
<b>Tabla 5.7.</b> Bitácora de trabajo de campo.	69
<b>Tabla 5.8.</b> Número de vehículos teóricos contra reales.	70
<b>Tabla 5.9.</b> Peso volumétrico para las muestras tomadas.	73
<b>Tabla 5.10.</b> División granulométrica para las 18 muestras.	76
<b>Tabla 5.11.</b> Cuantificación de subproductos por fracción para las 18 muestras.	78
<b>Tabla 5.12.</b> Porcentaje de humedad por fracción de todas las muestras.	80
<b>Tabla 5.13.</b> Contenido porcentual de sólidos volátiles.	81
<b>Tabla 5.14.</b> Contenido porcentual de sólidos inertes.	82

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

- AGU: Agencia de gestión urbana de la Ciudad de México.
- ALO: Álvaro Obregón.
- AZC: Azcapotzalco.
- BEJ: Benito Juárez.
- BP: Bordo Poniente.
- CAB: Central de Abastos.
- CCEUM: Congreso Constituyente de los Estados Unidos Mexicanos.
- CDMX: Ciudad de México.
- CEUM: Congreso de los Estados Unidos Mexicanos.
- COY: Coyoacán.
- CUA: Cuauhtémoc.
- DGSU: Dirección general de servicios urbanos.
- DOF: Diario oficial de la federación:
- ET: Estación de transferencia.
- FORSU: Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.
- GAM: Gustavo A. Madero.
- GODF: Gaceta oficial del Distrito Federal.
- INEGI: Instituto nacional de estadística y geografía.
- IZT: Iztapalapa.
- LGEEPA: Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.
- LGPGIR: Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.
- MAL: Milpa Alta.
- NMX: Norma mexicana.
- NOM: Norma oficial mexicana.
- OCDE: Organización para la cooperación y el desarrollo económico.
- PCBP: Planta de composta de Bordo Poniente.

- PEAD: Poliestireno de alta densidad.
- RSM: Residuos sólidos municipales.
- RSU: Residuos sólidos urbanos.
- SEDEMA: Secretaría del medio ambiente.
- SEMARNAT: Secretaría del medio ambiente y recursos naturales.
- SI: Sólidos Inertes
- SV: Sólidos volátiles.
- TLA: Tlalpan.
- VEC: Venustiano Carranza.
- XOC: Xochimilco.

## GLOSARIO

- Humedad: Porcentaje de peso que se debe a agua.
- Peso volumétrico: Densidad, es decir el peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen.
- Sólidos inertes: Peso del rechazo generado después de la incineración en un crisol abierto, también denominado cenizas.
- Sólidos volátiles: Referente sobre del contenido de material fácilmente biodegradable.
- Subproductos: Los diversos componentes físicos de los residuos sólidos urbanos susceptibles de ser recuperados.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Resumen

El manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) es una de las mayores problemáticas a las que se enfrentan todas las ciudades más importantes del mundo, especialmente aquellas de zonas altamente pobladas como la Ciudad de México (CDMX), ya que el mal manejo de éstos puede provocar afectaciones en diversos aspectos de la vida en sociedad. Asimismo, en caso de que el sistema de manejo de RSU sea efectivo, aún queda el problema respecto a la cantidad en que estos se producen y la proporción en que éstos se pueden aprovechar, con el fin de disminuir la disposición final en rellenos sanitarios.

De tal forma que es necesario llevar a cabo, de forma regular, estudios para caracterizar los RSU con miras a mejorar los sistemas de recolección, recuperación, tratamiento y aprovechamiento de los mismos; puesto que el poseer información respecto a su generación, composición y características de los residuos permitirá valorar de forma sustentada todas las opciones disponibles para su manejo.

Cuando se habla de "basura" existe un conocimiento en casi todos los estratos sociales, vago pero generalizado, del aprovechamiento de la llamada "fracción inorgánica", principalmente a través de la recolección de materiales recuperables: vidrio, papel cartón, aluminio, PET, etc. Prueba de ello, es que en el país este es uno de los métodos más comunes de aprovechamiento, utilizando bandas transportadoras y separación manual (SEMARNAT, 2008). No obstante, de la fracción orgánica (FORSU) se tiene muy poco conocimiento respecto a su potencial aprovechamiento, tanto a nivel social como gubernamental. Y

aunque actualmente se intenta aprovecharla por medio de la generación de composta, es necesario explorar tecnologías diferentes que resulten más redituables.

## 1.2. Objetivo General

Llevar a cabo el estudio de caracterización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) generados en la CDMX, que ingresan a la Planta de Composta de Bordo Poniente (PCBP).

## 1.3. Objetivos particulares

- Realizar el diseño estadístico, con un nivel de confianza del 95% que asegure la toma de muestras representativas de las estaciones de transferencia que llegan a la PCBP, como un estudio de caso.
- Realizar el muestreo que arroje datos sobre el estado actual de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que ingresan a la PCBP.
- Determinar el peso volumétrico de la fracción orgánica de acuerdo a la norma NMX-AA-19-1985.
- Realizar la separación granulométrica de la fracción orgánica muestreada y caracterizarla.
- Determinar: materia seca, sólidos volátiles y contenido de inertes en los diferentes tamaños de partículas separados.

## 1.4. Alcances y limitaciones

Este trabajo se restringe al estudio de la fracción orgánica, proveniente de las estaciones de transferencia, ingresada a la PCBP durante la tercera semana del mes de junio del 2016.

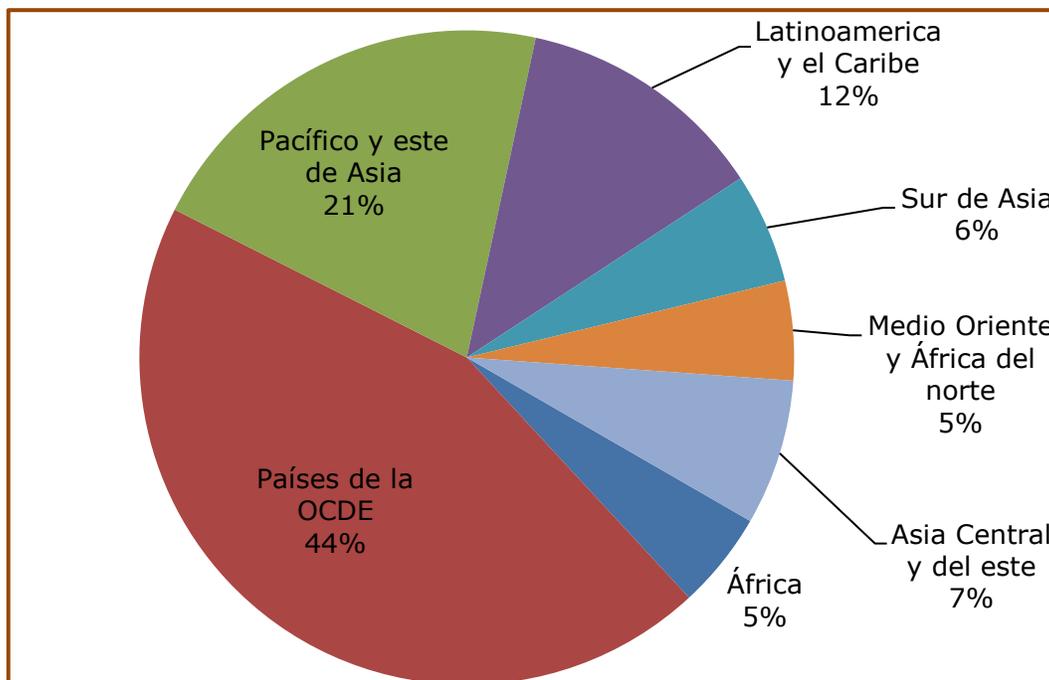
## 2. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

### 2.1. Panorama internacional.

Cualquier actividad antropogénica, independientemente del nivel de desarrollo al que pertenezca, tiene la característica de generar algún tipo de residuo.

Dicha generación es dependiente de diversos factores como la expansión demográfica, los patrones de consumo, la explotación de los recursos naturales, políticas ambientales, conciencia social, etc.; siendo el principal factor asociado a la generación de residuos el crecimiento poblacional de los centros urbanos, puesto que este conlleva no sólo la mayor producción *per se* sino también una mayor demanda de productos y servicios al contar con un mayor ingreso económico.

En el 2010, de las 3,532,252 toneladas de residuos generados diariamente a nivel global, el 44% de la producción correspondieron a los países con economías más desarrolladas de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), como Estados Unidos, Alemania y Francia; mientras que el 12% se debió a países con economías más subdesarrolladas, como los que integran las regiones del Pacífico y el este de Asia (Hoorweg y Bhada-Tata, 2012); esta información se presenta en la gráfica 2.1.



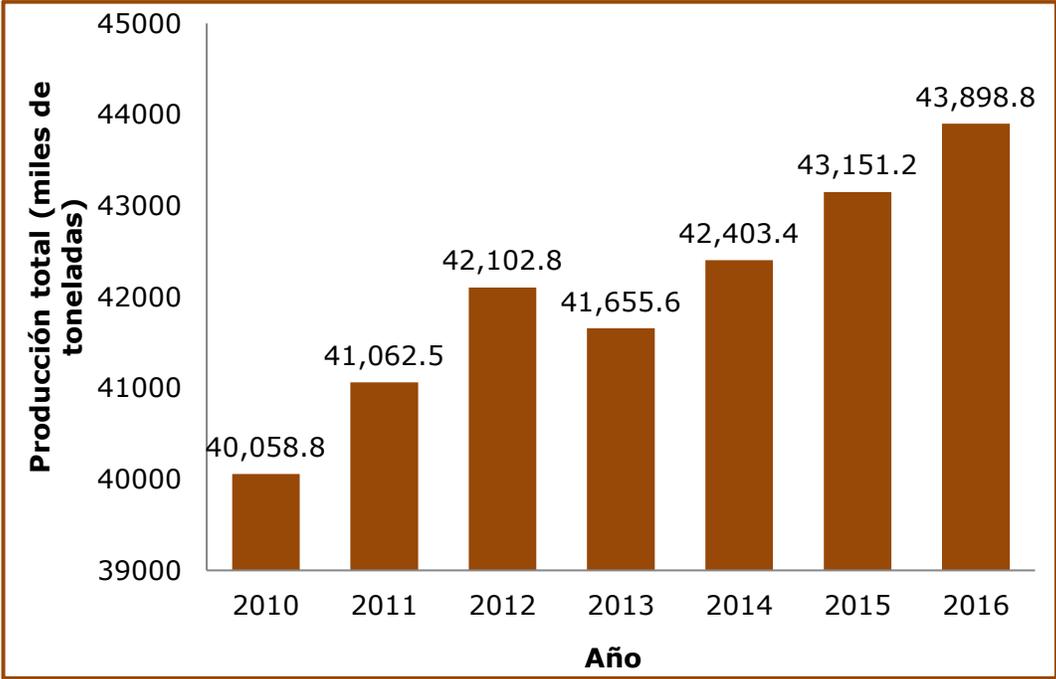
**Gráfica 2.1.** Generación mundial de residuos por región en el 2010 (Fuente: Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

Se reporta que en el año 2012, la producción mundial de RSU fue de alrededor de 1,300 millones de toneladas diarias y se estima que para el 2025 la cifra aumentará a 2,200 millones de toneladas (SEMARNAT, 2016), es decir un aumento de casi el 70% en la producción de residuos en sólo 13 años. En vista de lo anterior, el mayor problema alrededor de los residuos y su manejo es la cantidad en que estos se producen y la capacidad de cada gobierno para darles el manejo, tratamiento o disposición final adecuados, sin afectar ningún aspecto de la vida de la población.

## 2.2. Panorama nacional.

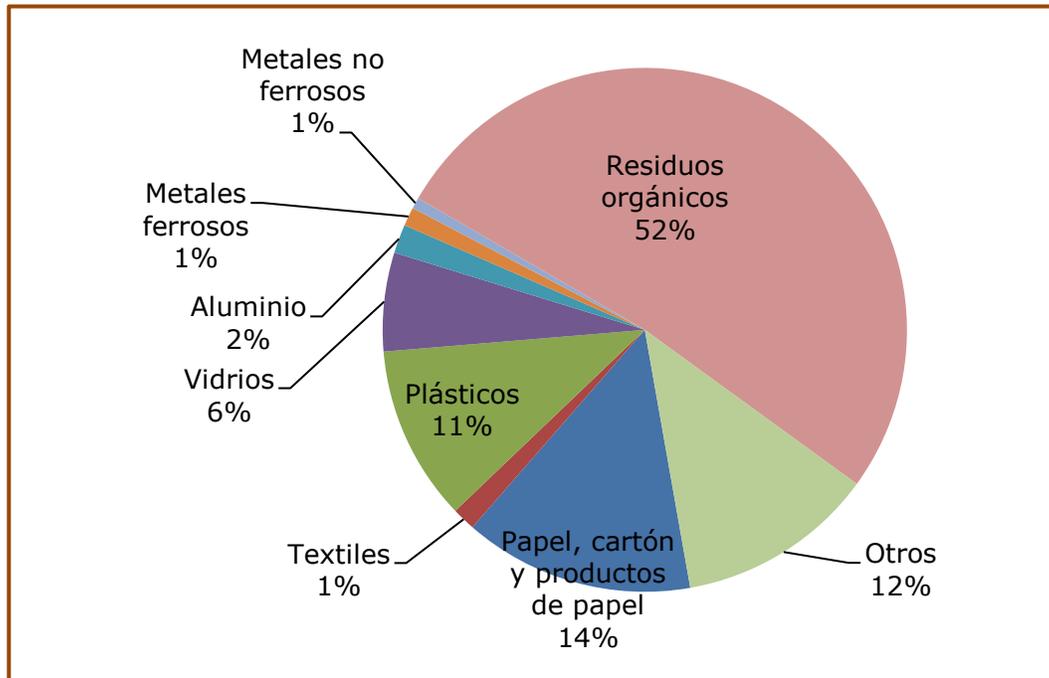
En México, como en la gran mayoría de los países, existe una tendencia a aumentar la cantidad de residuos producidos a través de los años, destacando un aumento en la producción de éstos de aproximadamente

el 1.8% en los últimos cuatro años (INEGI, 2016) lo cual puede apreciarse en la gráfica 2.2.



**Gráfica 2.2.** Generación de residuos a nivel nacional en los últimos años. (Fuente: INEGI, 2016).

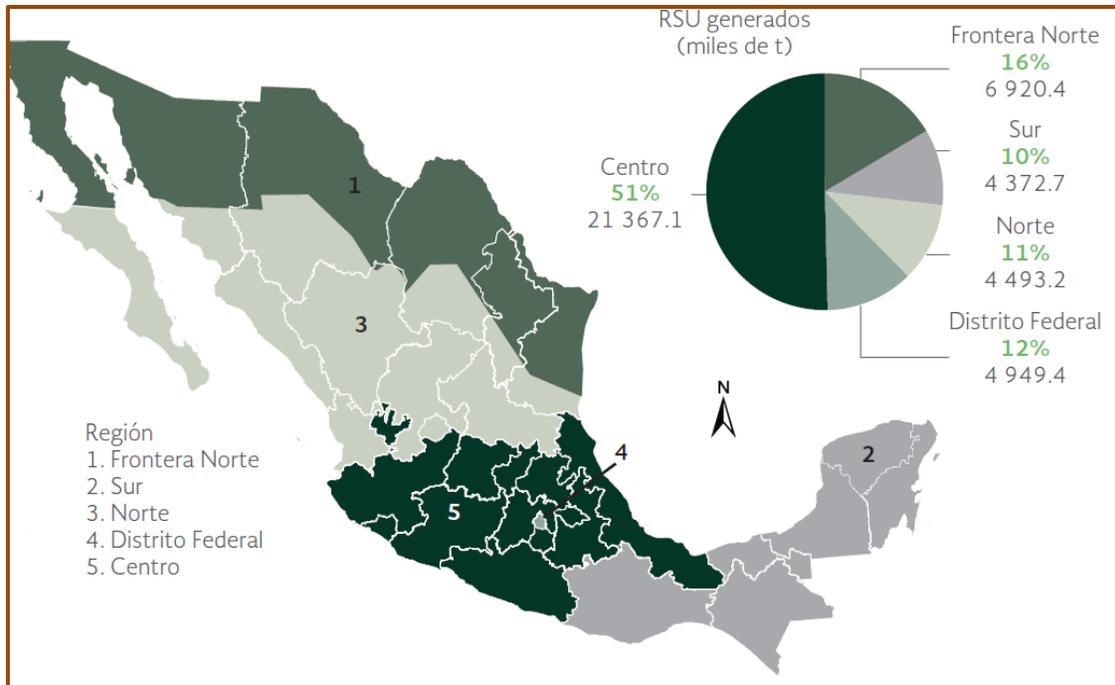
Así como la cantidad de residuos generados es dependiente del nivel de desarrollo de la población de una entidad, lo es también la composición de éstos, cuya caracterización es vital para la planeación de su manejo. En la gráfica 2.3 se muestra la composición de los RSU generados a nivel nacional en el año 2016.



**Gráfica 2.3.** Composición de los residuos generados en México en el año 2016.

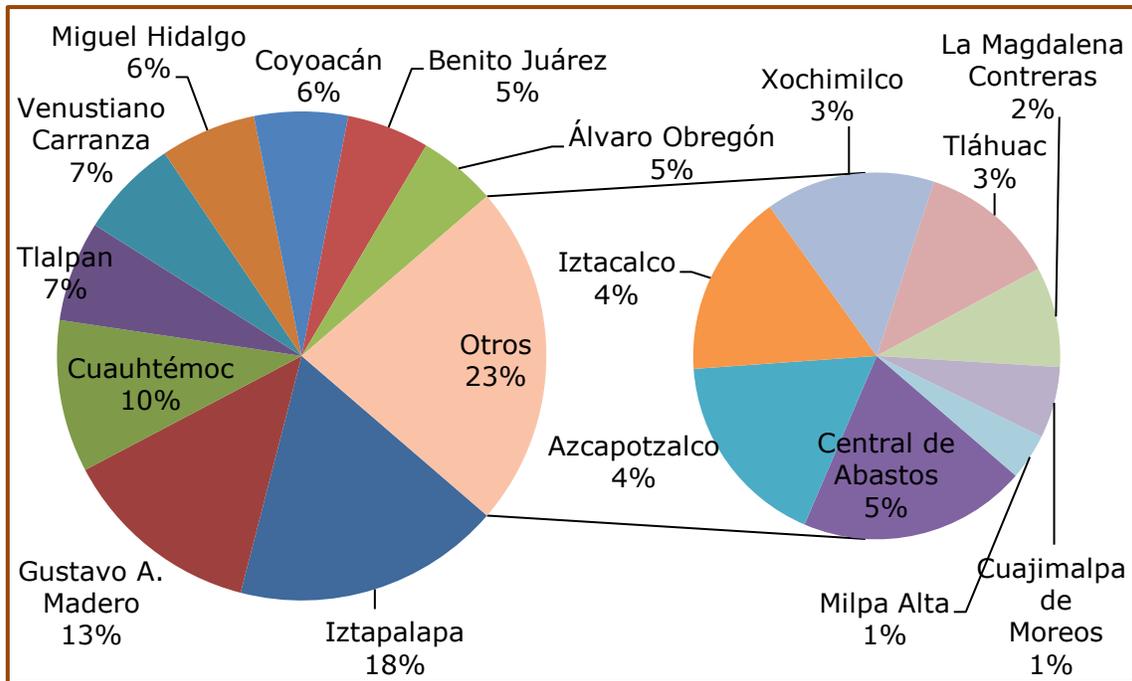
(Fuente: INEGI, 2016).

Como es de esperarse, las diferencias en la distribución de la población sobre el territorio provocan que la generación de residuos varíe geográficamente, por lo que los mayores volúmenes se encuentran en las zonas con mayor concentración de población; como consecuencia, la parte centro del país es la región con mayor aporte en la generación de residuos a nivel nacional. En el 2012 se reportó que esta región concentró el 51% de la producción nacional. Dentro de esta zona el segundo estado con mayor concentración de RSU fue el Distrito Federal (hoy Ciudad de México, CDMX) con 11.8% del total nacional (SEMARNAT, 2016). La información correspondiente al aporte regional en la generación de residuos a nivel nacional se presenta en la figura 2.1.



**Figura 2.1.** Generación de RSU en México por región, 2012. (Tomado de SEMARNAT, 2016.)

El aporte porcentual diario de cada delegación de la CDMX y la Central de Abastos a la generación de residuos se muestra en la gráfica 2.4, en esta se aprecia que tres delegaciones concentran el 41% de la generación total: Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc. Y las delegaciones que entre ellas generan menos del 5% del total de residuos son Milpa Alta, Cuajimalpa y Magdalena Contreras (SEDEMA, 2016). Con respecto a las fuentes de generación de RSU, se reporta que los domicilios particulares es la fuente que contribuye con el 48% del total de los RSU generados en la CDMX (SEDEMA, 2016).



**Gráfica 2.4.** Aporte delegacional a la generación diaria de residuos en la CDMX  
(Fuente: SEDEMA, 2016).

### 2.3. Marco jurídico.

En México en 1964 se inició el control de los residuos sólidos urbanos (denominados entonces residuos sólidos municipales, RSM), por parte de la federación, cuando la Dirección de Ingeniería Sanitaria pasó a formar parte de la Comisión Constructora e Ingeniería Sanitaria, de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (CCISSA) con la finalidad de atender a nivel nacional los programas de recolección y disposición final de los RSM (Mendoza Cariño, 2007). A partir de entonces se han creado diversas instituciones e instrumentos legales con el fin de regular todo lo relacionado con los residuos, desde su generación hasta su adecuada disposición.

Todas las leyes, reglamentos o normas se desprenden del máximo instrumento jurídico nacional que es la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual marca en el artículo 4º que toda

persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y el Estado garantizará este derecho; además marca en el artículo 115, fracción III que los municipios tienen a su cargo el servicio de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos (CCEUM, 1917).

En seguida se presentan de forma resumida los instrumentos aún vigentes y relevantes para este trabajo; por cada ley se presentan los artículos referentes a residuos sólidos urbanos en el ANEXO.

1. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). (DOF 28-enero-1988). (Anexo 1.1). Es una ley de carácter federal que establece las reglas generales de preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, y tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable (SEDEMA, 2016).

A continuación, se presentan los reglamentos de esta ley en diferentes materias que tienen que ver con los residuos sólidos urbanos.

- 1.1. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (DOF 30-mayo-2000). Pone en el Capítulo II, inciso L), fracción III, que el beneficio de minerales y disposición final de sus residuos en presas de jales, excluyendo las plantas de beneficio que no utilicen sustancias consideradas como peligrosas y el relleno hidráulico de obras mineras subterráneas, está reservada a la Federación. Además, se estipula en el Capítulo IV, artículo 30, fracción I, inciso c) que el informe preventivo, en caso de que se requiera para la realización de obras y actividades

deberá contener la identificación y estimación de las emisiones, descargas y residuos cuya generación se prevea, así como las medidas de control que se pretendan llevar a cabo (CEUM, 2000).

1.2. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas (DOF 30-noviembre-2000). Marca, en el Título Sexto, Capítulo I, artículo 87, fracción XIV, que se establece la prohibición, salvo que se cuente de la autorización respectiva, para arrojar, verter o descargar cualquier tipo de desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos o cualquier otro tipo de contaminante, tales como insecticidas, fungicidas y pesticidas, entre otros, al suelo o a cuerpos de agua (CEUM, 2000-b).

1.3. Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales (DOF 29-abril-2010). Pone en el Capítulo Segundo, sección I, artículo 8, fracción II, que los Términos de Referencia para la realización de Auditorías Ambientales describirán los requisitos y parámetros para evaluar y determinar los niveles de Desempeño Ambiental de una Empresa en materia de residuos, entre otras. Además, en el Capítulo Segundo, sección III, artículo 36, se señala que el Auditor Ambiental deberá tener acreditado y aprobado al menos un Auditor Coordinador y podrá tener Auditores Especialistas acreditados y aprobados en la especialidad de residuos, entre otras (CEUM, 2010).

2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). (DOF 8-octubre-2003). (Anexo 1.2). Esta legislación tiene por objeto dar cumplimiento al artículo 4º constitucional a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de

manejo especial; además de prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación (SEDEMA, 2016).

2.1. Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF 30 noviembre-2006). (Anexo 1.3).

3. Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal (GODF 13-enero-2000). (Anexo 1.4). Es el instrumento legal que contiene aspectos relacionados con el manejo de los residuos, con el objetivo de conducir y evaluar la política ambiental en la CDMX, así como los instrumentos y procedimientos para su protección, vigilancia y aplicación, a fin de conservar y restaurar el equilibrio ecológico, así como prevenir los daños al ambiente, de manera que la obtención de beneficios económicos y las actividades sociales se generen en un esquema de desarrollo sustentable, a través de la participación de la sociedad en el desarrollo y la gestión ambiental (SEDEMA, 2016-b).

4. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (GODF 22-abril-2003). (Anexo 1.5). Es el ordenamiento del Gobierno de la CDMX que regula la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia de competencia local, además de fijar los principios básicos, definiciones y lineamientos que se habrán de seguir para el cumplimiento de su fin (SEDEMA, 2016-b).

4.1. Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (GODF 7-octubre-2008). (Anexo 1.6).

También existen otros instrumentos legales, denominados normas; en la legislación mexicana hay dos tipo de normas: Normas Mexicanas (NMX), son las que elaboran algún organismo nacional de normalización, o la Secretaría de Economía, que prevén para un uso común y repetido

reglas, especificaciones, atributos, métodos de prueba, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado (CEUM, 1992; artículo 3, fracción X). Y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), que son las regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedida por las dependencias competentes, que establece reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación (CEUM, 1992; artículo 3, fracción XI).

A continuación, se presentan aquellas normas relacionadas con los residuos y relevantes para este trabajo, tanto bibliográfica como experimentalmente.

- NOM-083-SEMARNAT-2003 (DOF 20-octubre-2004) Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- NMX-AA-18-1984 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Establece el método de prueba para la determinación de cenizas de los residuos sólidos municipales.
- NMX-AA-15-1985 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio.

- NMX-AA-19-1985 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Establece un método para determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos municipales en el lugar donde se efectuó la operación de "cuarteo".
- NMX-AA-22-1985 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Establece la selección y el método para la cuantificación de subproductos contenidos en los residuos sólidos municipales.
- NMX-AA-61-1985 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio.
- NMX-AA-91-1987 (última reforma publicada en el DOF 6-noviembre-1992). Establece un marco de referencia en cuanto a los términos más empleados en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del suelo, originada por residuos sólidos.
- NADF-024-AMBT-2013 (GODF 8-julio-2015). Establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos de la Ciudad de México. Ésta es una norma de tipo ambiental para el DF (hoy CDMX) y de observancia obligatoria para los generadores de residuos ubicados en dicha ciudad.

#### 2.4. Clasificación legal de los residuos.

En la legislación mexicana se presentan, con pequeñas variaciones, dos definiciones para los residuos; éstas se muestran en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Definiciones de *residuo* según la legislación mexicana.

Instrumento jurídico	Definición
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente/NMX-AA-91-1987/Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal	Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos/NADF-024-AMBT-2013	Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la legislación.

Con el fin de darles un manejo adecuado a los residuos, se dividen con base en sus características o propiedades y su origen; clasificándolos y definiéndolos en tres grupos de acuerdo a la LGPGIR:

- a) Residuos de Manejo Especial (RME): Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
- b) Residuos Peligrosos (RP): Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.
- c) Residuos Sólidos Urbanos (RSU): Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que

utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados como residuos de otra índole. Esta definición se repite íntegramente en la norma NADF-024-AMBT-2013.

Éstos a su vez presentan su propia subclasificación, con el fin de poder recuperar aquellos materiales con potencial a ser valorizados. En el artículo 18 de la LGPGIR se marca que los RSU podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria. En la tabla 2.2 se muestran las definiciones, encontradas en los instrumentos jurídicos antes mencionados, de la subclasificación de los RSU.

Es de notarse que en la legislación mexicana se le da muy poca importancia a la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU), puesto que se desarrolla más el caso de la fracción inorgánica ya que presenta mayor consideración social al considerarse que tiene un mayor volumen comparado con la fracción orgánica, además de que es objeto inmediato de la valorización, reúso y reciclaje; sin embargo, como veremos en la siguiente sección, la FORSU representa más del 50% del total de los RSU.

**Tabla 2.2.** Subclasificación de los RSU, acorde a la legislación mexicana.

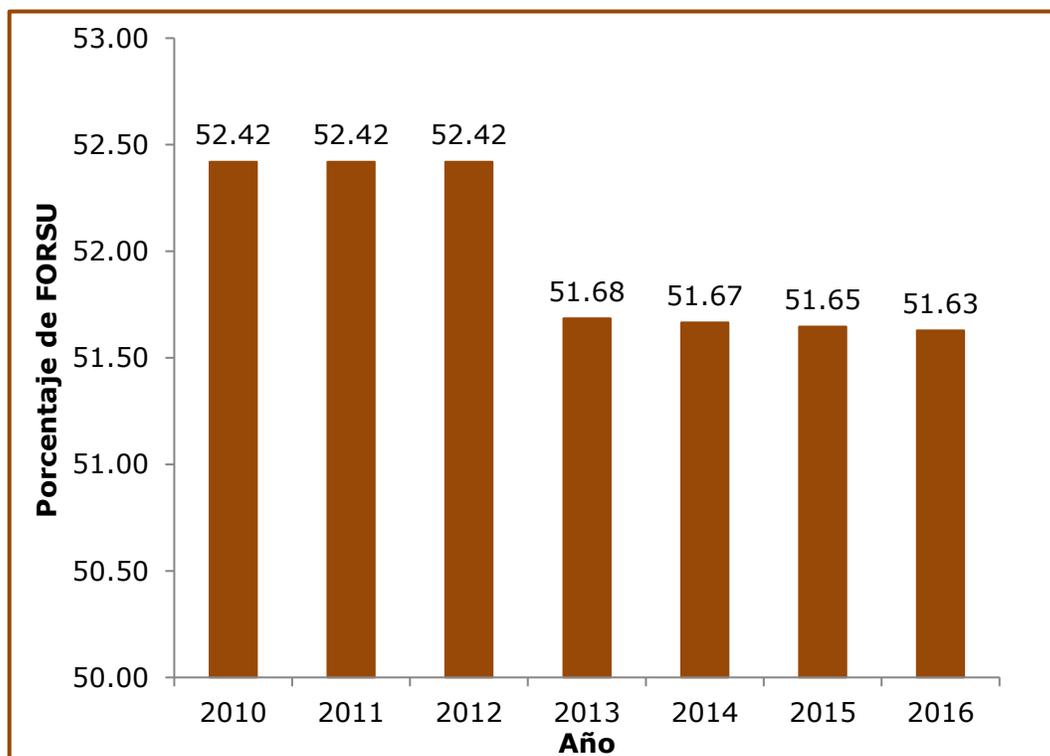
<b>Instrumento jurídico</b>	<b>Subclasificación</b>
<p>NADF-024-AMBT-2013</p>	<p><u>Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje</u>: Todo residuo que no tenga características de residuo orgánico y que pueda ser susceptible a un proceso de valorización para su reutilización y reciclaje, tales como vidrio, papel, cartón, plásticos, laminados de materiales reciclables, aluminio y metales no peligrosos y demás no considerados como de manejo especial.</p> <p><u>Residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado</u>: Aquellos que por sus características y los usos que se les han dado, pierden o dificultan las posibilidades técnicas y económicas de ser reincorporados a un proceso o tratamiento para permitir su valorización.</p> <p><u>Residuos orgánicos</u>: Para efecto de esta Norma Ambiental se refiere a todo residuo sólido biodegradable.</p>
<p>Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos Urbanos del Distrito Federal</p>	<p>La subclasificación de los <u>residuos orgánicos</u> podrá efectuarse conforme a lo siguiente: residuos de jardinería y los provenientes de poda de árboles y áreas verdes; residuos provenientes de la preparación y consumo de alimentos; residuos susceptibles de ser utilizados como insumo en la producción de composta.</p> <p>Los <u>residuos inorgánicos</u> se subclasifican en: vidrio; papel y cartón; plásticos; aluminio y otros metales no peligrosos y laminados de materiales reciclables; cerámicas; artículos de oficina y utensilios de cocina; equipos eléctricos y electrónicos; ropa y textiles; sanitarios y pañales desechables.</p>

## 2.5. Fracción orgánica (FORSU).

Se considera Fracción Orgánica (FORSU) a aquella porción de los residuos que se componen de restos de comida, jardines y materiales orgánicos similares a estos; que en su proceso de descomposición natural generan distintos gases, conocido como biogás, que deben ser quemados, según el acuerdo internacional para el control de emisiones de gases invernadero (INEGI, 2016).

En general, la predominancia de residuos orgánicos o inorgánicos se asocia a la condición económica de la población; en los países con menores ingresos dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son principalmente inorgánicos, con una cantidad importante de productos manufacturados (SEMARNAT, 2016).

En México alrededor del 52% de la producción total de RSU pertenece a la fracción orgánica y la tendencia general es la disminución de esta proporción a través de los años, como se muestra en la gráfica 2.5; sin embargo aún se mantiene una gran producción de este tipo de residuos, mayor al 50% del total nacional, cuyo destino final son principalmente los rellenos sanitarios o el compostaje, ya que las plantas de selección y compactadoras, infraestructura con las que cuenta la CDMX, no son de utilidad en la disposición final de ésta fracción.



**Gráfica 2.5.** Comportamiento de la proporción de FORSU en la generación de RSU a nivel nacional (Fuente: INEGI, 2016).

La Ciudad de México reporta una eficiencia delegacional de recolección de residuos orgánicos promedio de 38%, siendo Milpa Alta y Coyoacán las demarcaciones con mayor avance en el cumplimiento de su meta, con 96% y 86%, respectivamente (SEDEMA, 2016).

La opción más socorrida en la CDMX para darle una adecuada disposición final a la FORSU es a través del compostaje, proceso de descomposición aeróbica de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos específicos (GDF, 2003) que genera un producto valorizable: la composta; prueba de ello es la existencia de 8 plantas de composta bajo la dirección del gobierno de la ciudad. Sin embargo, cuando esta no es aprovechada por completo, está marcado en la ley, que deberá ser enviada a los rellenos sanitarios para su disposición final (Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, artículo 63).

No obstante el proceso mencionado anteriormente no es el único por el cual es aprovechable la FORSU, puesto que ésta tiene el potencial de ser valorizado si se le considera como un recurso que puede utilizarse como materia prima para la generación de cierto tipo de beneficio, mediante algún tipo de tratamiento térmico, químico o biológico.; como la biodigestión anaeróbica (SEDEMA, 2016-b), también conocida como biometanización, que es la conversión de la materia orgánica en CO<sub>2</sub>, metano y lodos, mediante el uso de bacterias en un ambiente pobre de oxígeno (Aguilar Cruz y Contreras Durán, 2008); la gasificación, en la que se convierte materiales orgánicos sólidos o líquidos en un gas sintético de moléculas más simples (CO y H<sub>2</sub>) en una atmósfera reductora (Aguilar Cruz y Contreras Durán, 2008); pirólisis, en la que la materia se descompone mediante calentamiento en ausencia de oxígeno por el que se obtiene un material combustible útil en la generación de energía (Garcés Rodríguez, 2010); entre otros.

En la CDMX ya se piensa en otras alternativas para el aprovechamiento de la FORSU, en adición a la generación de composta; dentro de las metas del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos 2016-2020 está planteado que para el 2020 se desarrollen las condiciones mínimas para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos a través del proceso de biodigestión anaerobia, de acuerdo a las acciones de "Basura Cero" (SEDEMA, 2016-b). Prueba de ello es la reciente publicación de la Licitación Pública Nacional Número AGU/3000/LP-019-PS/DITGRSU/2017.-Convocatoria 019.- Prestación del servicio integral a largo plazo para el diseño, construcción, puesta en marcha, operación y mantenimiento de una planta de aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México

mediante Biodigestión Anaerobia por Vía Seca en Continuo (Gaceta Oficial de la CDMX, 31-agosto-2017).

De cualquier modo, para poder aprovechar la FORSU, en cualquier proceso de revalorización, es necesario conocer a fondo esta fracción, además de su origen y volumen de producción debe estudiarse su composición y las características que presenta.

El conocimiento de esta información puede permitir una elección adecuada del proceso para el cual es óptima dicha fracción en las condiciones en las que esta se genera; o el diseño del pretratamiento necesario para volverla apropiada al proceso que se requiera. De igual forma sería posible una reforma en la infraestructura de recolección, transporte y disposición final en caso de que esta se considere necesaria, con el fin de darle un mejor manejo a esta fracción.

### 3. SITIO DE ESTUDIO

#### 3.1. Manejo Integral de los RSU.

Dentro de las estrategias para gestionar los residuos, la más conocida y difundida es la denominada gestión integral de los residuos sólidos urbanos, un modelo que se intenta implementar internacionalmente como la vía económica, técnica, socialmente aceptable y sustentable para minimizar los impactos antiestéticos, a la salud y al ambiente provocados por los RSU. Hay que hacer una distinción en cuanto al manejo integral de residuos se refiere, el cual se entiende como el conjunto de actividades relacionadas con la vida del residuo, desde su origen hasta su disposición final. (Jiménez Martínez, 2015).

La gestión integral de los residuos, además de procurar reducir su generación y conseguir su adecuada disposición final, también puede dar como resultado colateral la reducción, tanto de la extracción de recursos (evitando su agotamiento), como de energía y agua que se utilizan para producirlos, así como la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero. Todo ello se acompaña de importantes beneficios económicos, sociales y ambientales (SEMARNAT, 2016).

En México, desde el año 2009, existe un Programa Nacional para la Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR) cuyo objetivo es contribuir al desarrollo sustentable del país a través de una política ambiental de residuos basada en la promoción de cambios en los modelos de consumo y producción, que fomenten la prevención y gestión integral de los residuos; a través de acciones de prevención y minimización de la generación, separación en la fuente, reutilización y reciclado, la valorización material y energética, hasta la disposición final como última

opción, enmarcados en esquemas de responsabilidad compartida y diferenciada de los diferentes actores de la sociedad, con acciones ambientalmente adecuadas, técnicamente factibles, económicamente viables y socialmente aceptables (SEMARNAT, 2008).

### 3.2. Manejo de RSU en la CDMX.

La mejor medida que se puede tomar alrededor de los RSU es reducir la generación de éstos, sin embargo esto no es posible debido a que cualquier tipo de actividad antropogénica tiene asociada la generación de algún tipo de residuo, por mínimo que sea; por lo tanto la mejor medida es disminuir en forma gradual su producción desde las fuentes de origen. No obstante, la cultura para llegar a este punto utópico sigue sin permear en todos los estratos sociales, principalmente en países en vías de desarrollo como México, donde la economía de una considerable parte de la población gira alrededor del manejo de los RSU, tanto de manera formal como informal. El manejo adecuado de los residuos en etapas posteriores a su generación es un punto crítico en la gestión adecuada de éstos, puesto que es en éstas etapas donde se pueden llevar a cabo actividades de impacto ambiental, político y social, como el reciclaje y la transformación y aprovechamiento energético.

Idealmente cualquier entidad debe contar con un adecuado sistema de limpia y de gestión de los residuos que, de forma general, se compone de las siguientes etapas (Aguilar Cruz y Contreras Durán, 2008):

- a) Barrido de vías y áreas públicas. Es la acción de retirar los residuos depositados en los contenedores públicos o que se encuentran tirados en la vía pública, de forma manual o mecánica, con la finalidad de mantener limpias las vialidades de circulación peatonal

y/o vehicular, así como evitar fuentes de infección y obstrucción al sistema de drenaje (SEDEMA, 2016).

La CDMX reporta que en el año 2015 contaba con 7,294 trabajadores encargados del barrido manual de 6,782 rutas o tramos y con 71 barredoras delegadas a las vialidades primarias, secundarias y todas aquellas que presenten un considerable flujo vehicular que pudieran resultar riesgosas para el personal de barrido manual; sin embargo solo una se encontraba en buen estado, 34 barredoras en estado regular y 36 en malas condiciones (SEDEMA, 2016).

b) Recolección. Es el proceso en el cual los sistemas destinados a este fin, que pueden ser tanto gubernamentales como concesionados, recorren diferentes zonas con el fin de recolectar los residuos desde las fuentes generadoras para trasladarlos a los sitios de tratamiento o disposición. La recolección juega un papel importante en el cuidado ambiental al impedir la contaminación de suelos y agua evitando la acumulación de los residuos en sitios sin ningún tipo de control; además de evitar la generación de gases de efecto invernadero, como el metano o el dióxido de carbono, así como evitar la proliferación de cualquier tipo de fauna nociva que pudiera afectar la salud pública.

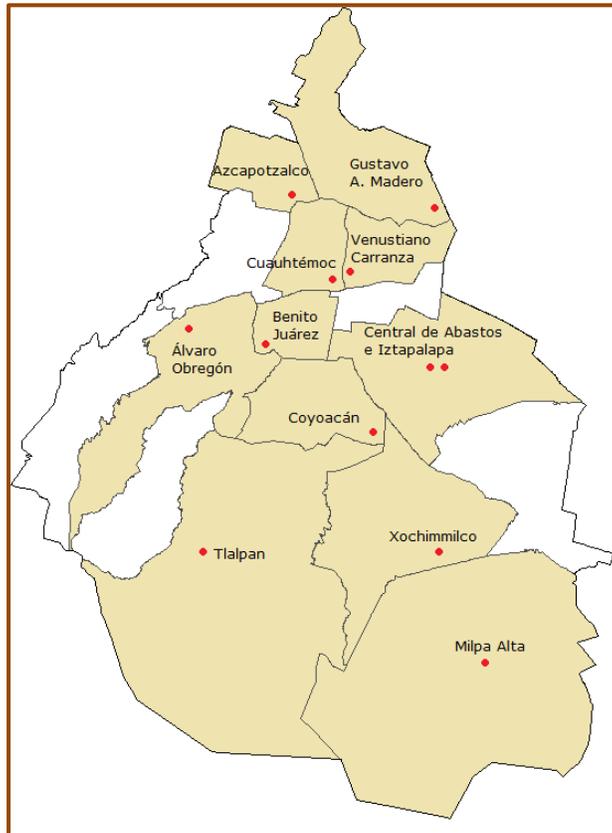
Para este fin, la CDMX en el 2015 contaba con 2,579 vehículos recolectores con 3,650 operadores contratados para llevar a cabo la tarea en 1,863 colonias a través de 1,749 rutas (SEDEMA, 2016). La recolección en cada delegación de la CDMX se lleva a cabo de forma selectiva de acuerdo a lo establecido en la Ley Residuos Sólidos del Distrito Federal y lo reportado por el gobierno indica que en el 2015

la eficiencia de la recolección de la FORSU fue del 38% (SEDEMA, 2016).

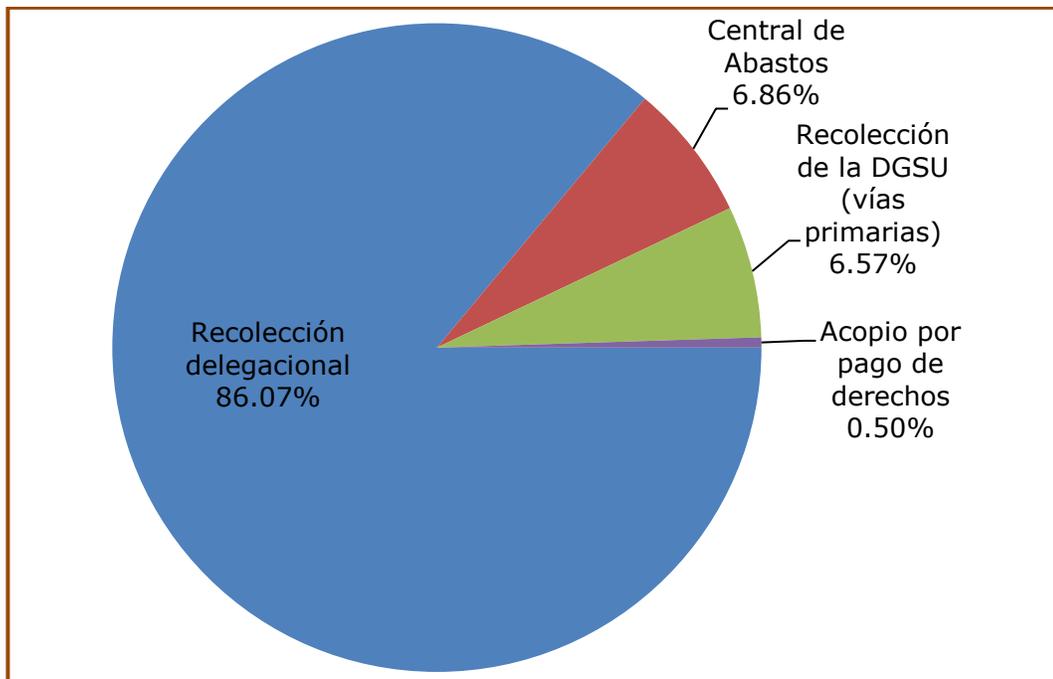
c) Transporte. Una vez recolectados los RSU desde sus puntos de generación generalmente son trasladados a una de las Estaciones de Transferencia (ET), ubicadas en 11 de las 16 demarcaciones territoriales de la CDMX, donde se colectan en vehículos de mayor capacidad y son llevados a las plantas de selección, de composta o a los sitios de disposición final.

Las ET tienen como objetivo el incrementar la eficiencia del servicio de recolección, aminorar el tiempo de traslado de los vehículos recolectores, disminuir el tiempo de descarga de los residuos y por consecuencia disminuir la cantidad de emisiones durante esta etapa (SEDEMA, 2016-b). La CDMX cuenta con 12 ET ubicadas en 11 demarcaciones territoriales como se muestra en la figura 3.1 y el origen de los residuos que ingresan a dichas estaciones se presenta en la gráfica 3.1.

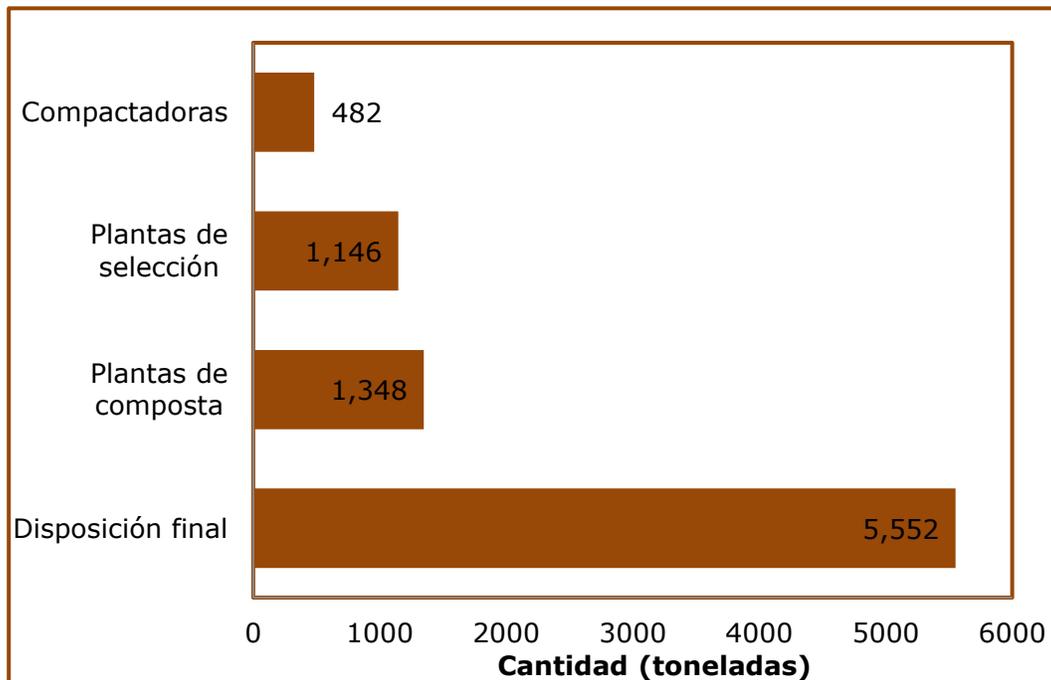
Una vez separados los residuos, éstos se transportan utilizando tractocamiones con cajas de transferencia para cada fracción, orgánica e inorgánica, y se llevan a alguno de los siguientes destinos: plantas de selección, plantas de composta, compactadoras o sitios de disposición final. La distribución de las 8,528 toneladas recolectadas en las Estaciones de Transferencia diariamente durante el año 2015 en la CDMX se presenta en la gráfica 3.2.



**Figura 3.1.** Localización de las ET en la CDMX (Elaboración propia a partir de PAOT, 2013).



**Gráfica 3.1.** Origen de los residuos de ingresan a las estaciones de transferencia. (Fuente: SEDEMA, 2016).



**Gráfica 3.2.** Destinos de los RSU a partir de las estaciones de transferencia durante el 2015. (Fuente: SEDEMA, 2016).

d) Tratamiento. Los objetivos principales de los tratamientos a los que se someten los RSU son: la disminución de su volumen y su potencial valorización, ya sea mediante el reciclaje, reutilización o transformación; lo cual disminuye el consumo de materias primas, electricidad y agua, entre otros insumos, que serían necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales (SEMARNAT, 2016) A *grosso modo* los tratamientos se clasifican en las siguientes categorías: biológicos, químicos, térmicos y físicos otro tratamiento no englobado en ninguna de las clasificaciones anteriores es el reciclaje.

e) Disposición final. Es la acción de depositar o confinar los residuos de forma permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su diseminación y posibles afectaciones a los ecosistemas y a la salud pública. Los residuos que llegan a esta etapa son, idealmente,

aquellos que no han podido ser valorizados en ningún paso anterior. Desafortunadamente, como se aprecia en la gráfica 3.2, la gran mayoría de los RSU generados en la CDMX terminan siendo enviados a disposición final.

A continuación, se presenta de forma extensa las etapas más relevantes para este trabajo, puesto que son aquellas que tienen que ver tanto con el muestreo, análisis y utilidad del mismo.

### 3.2.1. Sistemas de tratamiento.

Como se mencionó anteriormente los tratamientos que pueden hacerse con los RSU se clasifican de diversas formas, todas con la finalidad de darle algún tipo de valorización a los residuos, en este apartado se abordará aquellas de interés en el manejo de la FORSU, presentando la descripción general de dichos procedimientos y algunos ejemplos:

a) Tratamientos biológicos: Estos tipos de tratamientos se les dan a los residuos biodegradables (fracción orgánica) y generalmente se llevan a cabo a bajas temperaturas y bajas velocidades de reacción. De este tipo de procesos se obtiene principalmente biogás, composta y abonos (Aguilar Cruz y Contreras Durán, 2008).

De forma general existen dos tipos de procesos en esta categoría: aerobios, en los que la reacción de biodegradación se lleva a cabo en presencia de oxígeno, como es el caso del compostaje; y anaerobios, que se caracterizan por la ausencia de oxígeno.

b) Tratamientos químicos: El principal objetivo de estos tratamientos es facilitar la degradación de macromoléculas y aumentar la biodisponibilidad de la materia orgánica por la adición de ciertos

reactivos, como ácidos o bases fuertes, o por medio de otros métodos como la ozonización (Flores Santiago, 2015)

c) Tratamientos térmicos: Con este tipo de tratamientos se busca la generación de algún producto principal, como combustibles, con la generación de electricidad como subproducto primario mediante la conversión térmica del carbón orgánico; con la subsecuente reducción del volumen de residuos que esto implica (Aguilar Cruz y Contreras Durán, 2008). Dentro de esta categoría entran la incineración, gasificación y pirólisis. Este tipo de tratamientos son los más estudiados y aplicados a escala industrial exitosamente.

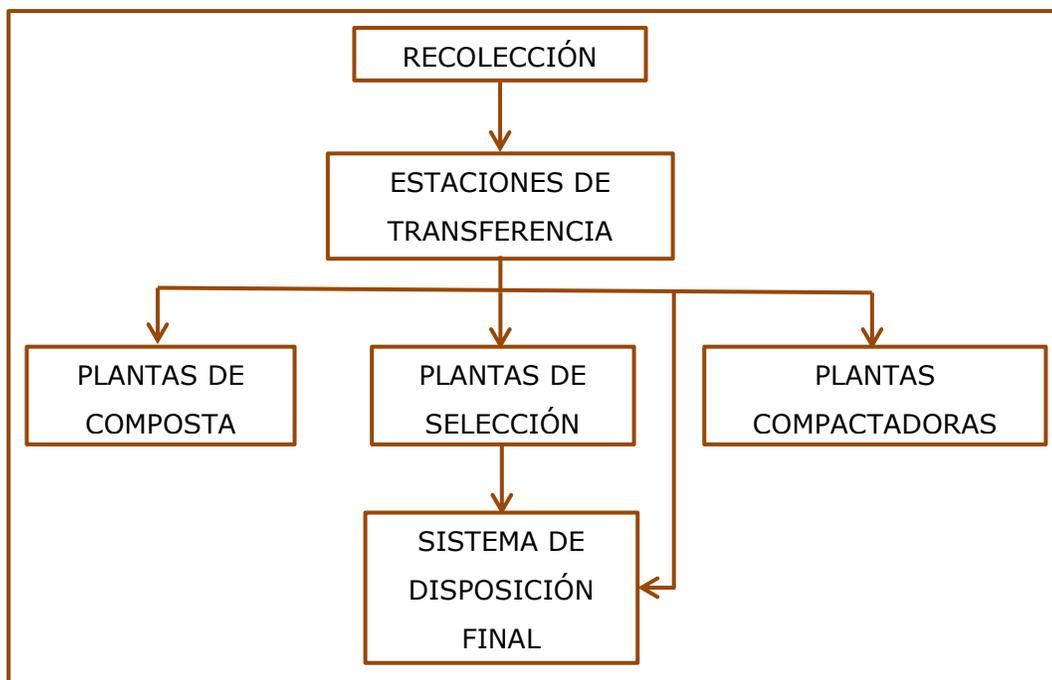
d) Tratamientos físicos: Estos tratamientos podrían considerarse un pretratamiento puesto que la función principal de estos es el acondicionamiento de los RSU previo a otro tipo de procedimiento y el objetivo principal es la reducción del tamaño de partícula para aumentar la biodisponibilidad de la materia orgánica. Ejemplos son la maceración y trituración.

Sin importar la categoría a la que pertenezca el tratamiento es necesario considerar aspectos de diseño como el conocimiento de las propiedades y características de la materia prima, en este caso los RSU; es por ello que es de vital importancia los estudios que lleven a cabo tareas de "reconocimiento" de los residuos, especialmente de la fracción orgánica puesto que esta es de las menos estudiadas y tiene un alto potencial de utilización que genera no sólo impacto en el aspecto ambiental y de salud, sino que también reditúa beneficios económicos si se les deja de ver como materiales de desecho y se considera su explotación.

No obstante, muchas de las tecnologías mencionadas anteriormente requieren de gran inversión e infraestructuras, aunado a una conciencia social que se enfoque en la correcta separación de los residuos. Con

miras a la implementación de estas tecnologías, en la CDMX se pretende comenzar la construcción de una planta de termovalorización en terrenos impactados del Bordo Poniente, por parte del consorcio Proactiva Medio Ambiente S.A de C.V.-Veolia (AGU, 2017).

Actualmente para la valorización de los RSU el gobierno de la CDMX cuenta con tres plantas de selección, la planta de composta de Bordo Poniente, plantas de composta operadas por algunas demarcaciones territoriales y plantas de compactación (SEDEMA, 2016-b). En el diagrama 3.1 se muestra de forma general el proceso de manejo de los RSU en la CDMX.



**Diagrama 3.1.** Esquema general del proceso del tratamiento de los RSU en la CDMX.

a) Plantas de selección. Estos sitios son instalaciones que combinan procesos de selección automáticos y manuales, con el objetivo de separar las fracciones recuperables de la mezcla de residuos y prepararlos para la comercialización (SEDEMA, 2016). La CDMX

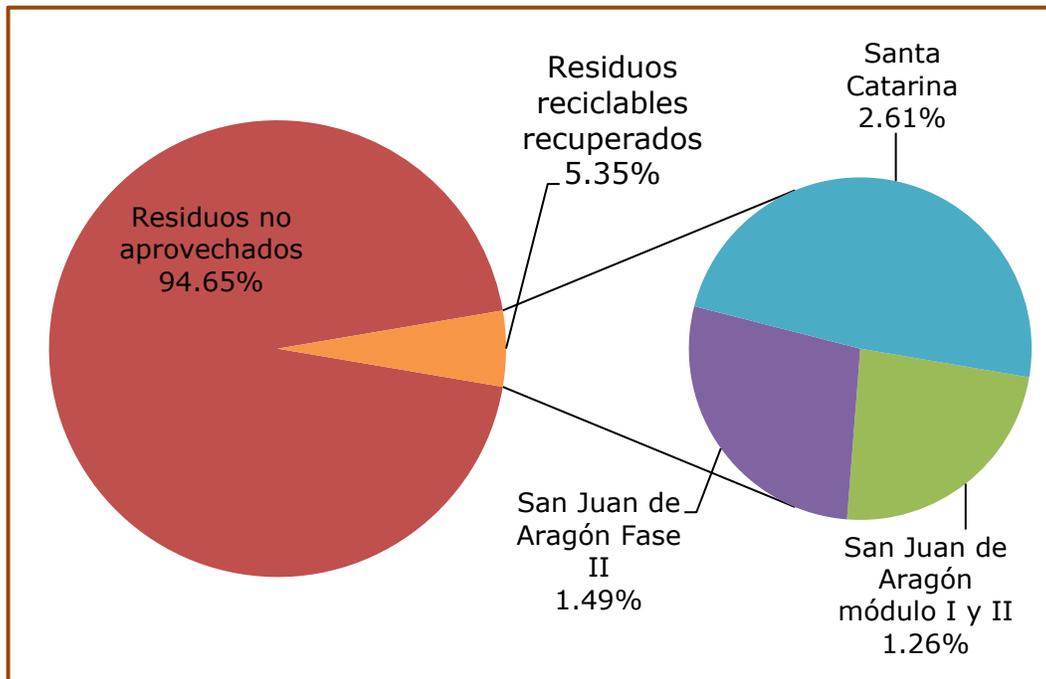
cuenta con tres plantas de selección y aprovechamiento de residuos sólidos para la selección de subproductos reciclables: dos construidas en el complejo de San Juan de Aragón y una en el cerro de Santa Catarina (SEDEMA, 2016-b). En la tabla 3.1 se presentan algunas características de las plantas de selección.

La revalorización de los residuos, es decir su reciclaje, pretende convertir los materiales que componen los residuos (papel, cartón, vidrio, algunos metales y PET como ejemplos más importantes) en materiales reusables en los procesos productivos; que disminuye el volumen de los residuos a ser transportados y dispuestos en sitios adecuados, además de que disminuye el consumo de materias primas, electricidad y agua, entre otros insumos, que serían necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales (SEMARNAT, 2016).

Sin embargo, en México el volumen de materiales reciclados es reducido, se reporta que en el año 2012 sólo se alcanzó un 9.6% de materiales recuperados, lo cual es bajo si se compara con lo reportado por países pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos) que en promedio llegaron a un 24% de reciclaje de residuos (SEMARNAT, 2016). En la gráfica 3.3 se muestra el porcentaje de aprovechamiento de los residuos tratados en las tres plantas de recolección durante el año 2014.

**Tabla 3.1.** Características operacionales de las plantas de selección de la CDMX durante el 2014(Fuente: SEDEMA, 2016-b).

<b>Planta</b>	<b>Características operativas</b>		<b>Toneladas por día</b>	
San Juan de Aragón módulo I y II	Área construida de 24000 m <sup>2</sup> , cuenta con dos módulos, el módulo I actualmente lo ocupa el gremio de selectores, el módulo II cuenta con 4 líneas de producción. 1040 metros de banda de neopreno de 48 pulgadas de ancho, 200 metros de banda metálica (tablillas) de 48 pulgadas de ancho. Operan 4 turnos por día durante 19 horas en promedio de trabajo.	Residuos ingresados a proceso	933	
		Residuos reciclables recuperados	45	
		Residuos no aprovechados	889	
Santa Catarina	Área construida de 35000 m <sup>2</sup> , cuenta con 5 líneas de producción y 1180 metros de banda de neopreno de 48 pulgadas de ancho, 300 metros de banda metálica (tablillas) de 48 pulgadas de ancho. Operan 2 turnos por día de 12 horas en promedio de trabajo.	Residuos ingresados a proceso	1,353	
		Residuos reciclables recuperados	93	
		Residuos no aprovechados	1,259	
San Juan de Aragón Fase II	Área construida de 8726 m <sup>2</sup> , existen 4 líneas de producción, cuenta con 940 metros de banda de neopreno de 48 pulgadas de ancho, 200 metros de banda metálica (tablilla) de 48 pulgadas de ancho. 140 metros de banda metálica (tablillas) de 96 pulgadas y 2 sistemas de compactación. Operan 4 turnos por día durante 19 horas en promedio de trabajo.	Residuos ingresados a proceso	1,283	
		Residuos reciclables recuperados	53	
		Residuos no aprovechados	1,230	
<b>TOTAL</b>		<b>Residuos ingresados a proceso</b>	<b>Residuos reciclables recuperados</b>	<b>Residuos no aprovechados</b>
		<b>3,569</b>	<b>191</b>	<b>3,378</b>



**Gráfica 3.3.** Proporción de desechos aprovechados con respecto a los ingresados a las plantas de selección en la CDMX durante el 2014 (Fuente: SEDEMA, 2016-b).

Si la tendencia en la recuperación de residuos reciclables continua como se aprecia en la gráfica 3.3, la proporción de residuos no recuperables, que debe llevarse a un sitio de disposición final corresponde a más del 90%; esto puede deberse a diversos factores, tales como:

- Separación inadecuada por parte de los generadores, lo cual disminuye su potencial de reutilización.
- Ineficiencia en el sistema de recolección diferenciada.
- Mala planeación del proceso de selección por desconocimiento de las características de los residuos.
- Consumo desmedido por parte de la población, lo cual se ve reflejado en la producción innecesaria de desechos, entre otros.

Todo lo anterior en conjunto evita que exista un impacto real en la disposición final, ya que todos aquellos sin características

valorizables, es decir, que no pueden integrarse a una cadena de aprovechamiento, son enviados a disposición final.

b) Acondicionamiento y compactación de residuos para procesamiento.

La función principal del acondicionamiento y compactación es comprimir los residuos que entran, reduciendo así su volumen y permitiendo la entrada de más residuos, lo que facilita su manejo y transporte para su aprovechamiento en plantas de reciclaje o como materia prima (SEDEMA, 2016).

Debido a un convenio del 2011 entre el Gobierno de la CDMX y una empresa cementera mexicana, ésta última utiliza una cantidad considerable de RSU (hasta 3,000 toneladas diarias) como combustible alternativo. Con este fin se adquirió la maquinaria necesaria para la preselección y compactación de los residuos en la Planta de Selección y Compactación de San Juan de Aragón Fase I. Posteriormente, con la participación de la empresa cementera, se construyeron nuevas instalaciones de selección y compactación de residuos en la Estación de Transferencia de Iztapalapa - Central de Abasto, la cual opera desde el 2014 (SEDEMA, 2016-b).

El proceso que se realiza en estas instalaciones consiste en prensar y empaquetar los residuos no aprovechados (rechazo) de las plantas de selección, después de que se les han retirado los metales mediante un separador magnético y han sido cribados para separar las partículas finas y orgánicos remanentes. Posteriormente se envían a la planta cementera ubicada en el municipio de Tepeaca, Puebla. Los pocos residuos no aptos que son separados en este proceso, se depositan nuevamente en las estaciones de transferencia de San Juan de Aragón o de Iztapalapa - Central de Abasto para ser enviados a disposición final (SEDEMA, 2016-b).

c) Plantas de composta. El principal objetivo de estas instalaciones es la valorización de los residuos orgánicos mediante un proceso de transformación en un producto nuevo, en estos casos la composta. La CDMX cuenta con 8 plantas de composta que durante el 2015 recibieron 506,577 toneladas de residuos orgánicos provenientes de estaciones de transferencia, parques, áreas verdes, así como de derivados de estiércol, residuos de nopal y poda (SEDEMA, 2016). En la tabla 3.2 se presenta la información respecto al manejo de la fracción orgánica en las plantas de composta durante el año 2015.

**Tabla 3.2.** Ingreso de FORSU a las plantas de composta de la CDMX y generación de composta durante el 2015 (Fuente: SEDEMA, 2016).

<b>Planta de composta</b>	<b>Residuos orgánicos recibidos</b>	<b>Producción de composta</b>	<b>Cantidad de composta entregada*</b>
Bordo Poniente	492,086.0	94,482.0	8,714.0
Iztapalapa	8,207.4	231.0	124.5
Álvaro Obregón	2,037.0	1,651.0	1,193.0
Milpa Alta (2)	1,600.0	320.0	224.0
Xochimilco	1,516.8	307.5	218.4
Cuajimalpa	828.0	408.0	413.0
San Juan de Aragón	301.6	152.1	104.1
<b>Total (t/año)</b>	<b>506,576.8</b>	<b>97,551.6</b>	<b>10,991.0</b>

\*Se refiere a la cantidad de composta destinada en la CDMX a parques, jardines, áreas verdes, cultivos agrícolas, invernaderos y escuelas.

### 3.2.2. Disposición final: Rellenos Sanitarios.

Se entiende por disposición final el depósito o confinamiento permanente de los residuos en sitios e instalaciones que eviten su

diseminación y las posibles afectaciones a los ecosistemas y a la salud de la población (SEMARNAT, 2016).

Dentro de los diversos problemas que genera la disposición inadecuada de los RSU podemos mencionar:

- Generación de sitios insalubres que propician un hábitat favorable para la proliferación de todo tipo de fauna nociva.
- Contaminación del suelo donde se acumulen los residuos de forma incontrolada.
- Contaminación de cuerpos de agua debido a lixiviados producidos por el arrastre de corrientes de agua.
- Contaminación del aire debido a la producción de gases con efectos nocivos como metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), entre otros; etc.

Para evitar este tipo de problemas es que existen sitios específicos, bajo regulación gubernamental, para la adecuada disposición de los RSU; en México es la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003 la que establece las especificaciones de selección del sitio, el diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

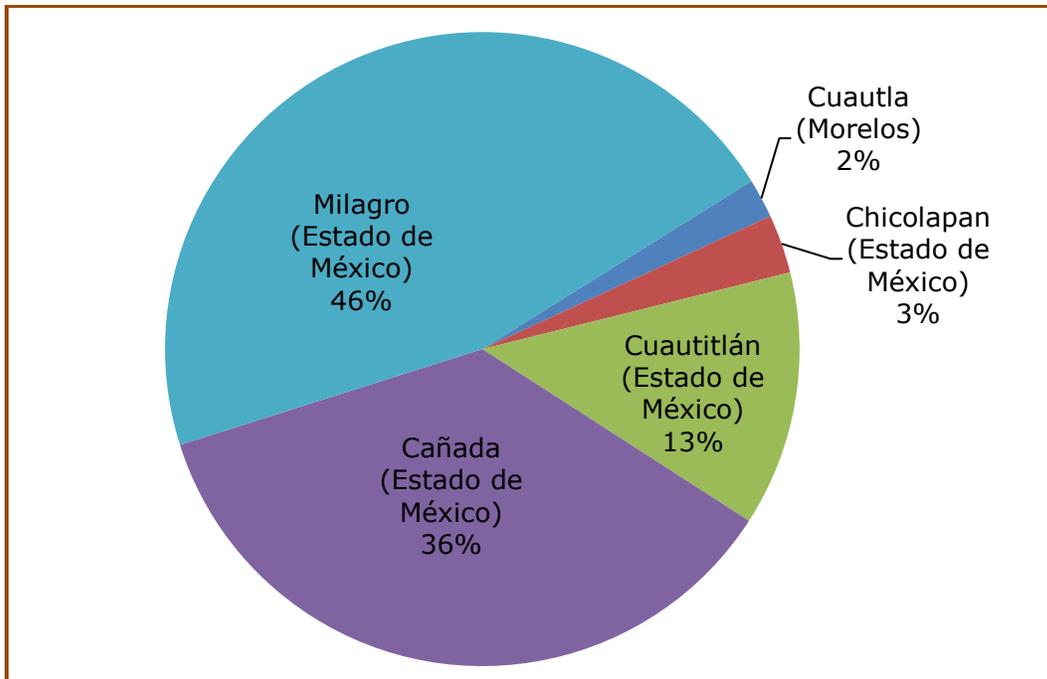
En México existen tres tipos de sitios para la disposición final de los RSU ([http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet5c54.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet5c54.html)):

- a) Rellenos sanitarios. Instalaciones de ingeniería para la disposición de los residuos sólidos urbanos, diseñadas y operadas para minimizar los impactos a la salud pública y al ambiente.

- b) Rellenos de tierra controlados. Sitios destinados para la disposición final de residuos sólidos urbanos, que cuentan parcialmente con inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas.
- c) Rellenos de tierra no controlados. Sitios en donde son vertidos y mezclados diversos tipos de residuos sólidos urbanos sin ningún control o protección al ambiente; pueden ser denominados tiraderos a cielo abierto.

En la CDMX sólo se utilizan rellenos sanitarios como sitios de disposición final de los residuos. Se define a un relleno sanitario, acorde a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2015), artículo 3º, fracción XXXIII; como la obra de infraestructura que aplica métodos de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos ubicados en sitios adecuados al ordenamiento ecológico, mediante el cual los residuos sólidos se depositan y compactan al menor volumen práctico posible y se cubren con material natural o sintético para prevenir y minimizar la generación de contaminantes al ambiente y reducir los riesgos a la salud.

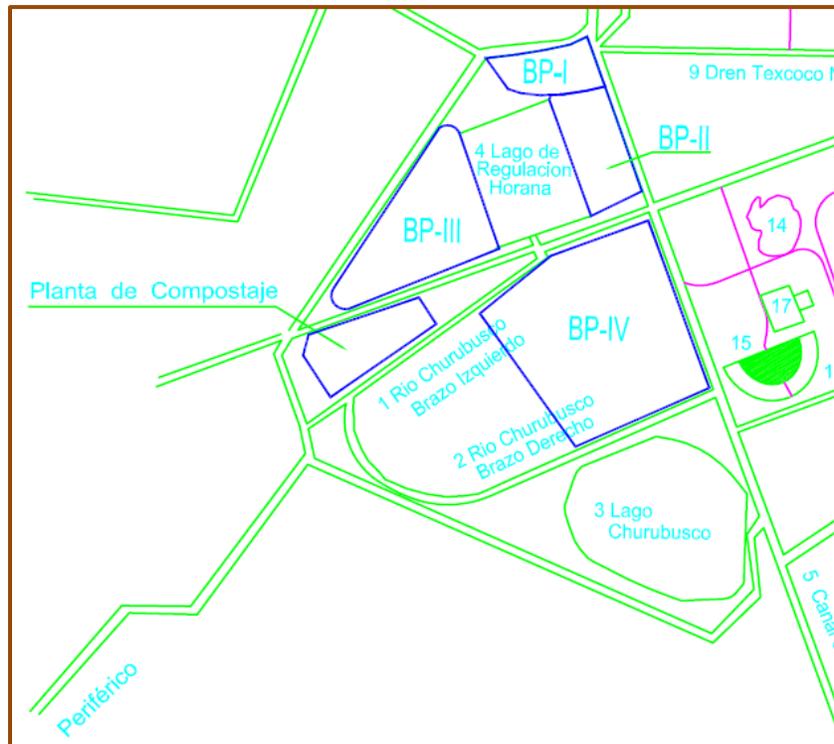
Dado que el principal relleno sanitario de la CDMX (Bordo Poniente) cerró sus operaciones como tal en el año 2011, el gobierno de la ciudad ha generado acuerdos para la disposición de los RSU con los estados de México y Morelos con el fin de utilizar sus rellenos sanitarios autorizados; cuatro de ellos se encuentran en el Estado de México: Chicoloapan, Cuautitlán, Milagro y Cañada, y uno en Cuautla, Morelos (SEDEMA, 2016). La distribución de los residuos enviados diariamente hacia los rellenos sanitarios antes mencionados por parte de la CDMX se presenta en la gráfica 3.4.



**Gráfica 3.4.** Destino de los RSU hacia los rellenos sanitarios (Fuente: SEDEMA, 2016).

### 3.3. Bordo poniente.

Hasta hora en México, la única solución para la disposición final de los RSU son los rellenos sanitarios y desde la apertura de su primera etapa en 1985, antes de existir la NOM-083-SEMARNAT-2003, que regula los sitios de disposición final, hasta su clausura total en el 2011, el destino final para los RSU generados en la CDMX y algunos municipios del Estado de México fue el relleno sanitario de Bordo Poniente. Este relleno se ubica al oriente de la CDMX, dentro de la zona federal del ex lago de Texcoco con las siguientes coordenadas geográficas: 19° 21' 30" latitud norte y 99° 15' 45" longitud oeste (DGSU, 2004); la figura 3.2 se muestra su localización y distribución.



**Figura 3.2.** Localización del relleno sanitario Bordo Poniente (Tomado de DGSU, 2004)

Este relleno abarca una superficie total de 1,000 hectáreas, aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, a una altura de 2,250 msnm (Mendoza Cariño, 2007); la distribución superficial entre las cuatro etapas de las que se compone, así como el tiempo de operación y la cantidad de residuos depositados se presenta en la tabla 3.3. La Etapa I. se llenó con los escombros resultantes tras el sismo de 1985 y durante dos años fue el tiradero de los RSU provenientes de las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza; y al igual que las etapas II y II funcionaba como un sitio de disposición final no controlado, ya que no existía ningún tipo de membrana impermeable (geomembrana) en el fondo o las paredes del relleno (Parra Piedrahita, 2012).

**Tabla 3.3.** Etapas que conforman el relleno sanitario de Bordo Poniente (Fuente: Nájera Aguilar-et al., 2010; DGSU, 2004; Parra Piedrahita, 2012).

<b>Etapa</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Residuos depositados (toneladas)</b>
Etapa I	75	0.75	1985 - 1992	3,323,247
Etapa II	75	0.75	1988 - 1997	3,659,368
Etapa II	104	1.04	1991 - 1997	5,819,892
Etapa IV	375	4.72	1994 - 2011	30,002,556

La etapa IV se dividió en 42 celdas y 8 macroceldas y consta de tres fases de operación; la primera se llevó a cabo hasta octubre del 2004 con una altura variable entre 5.72 y 9.35 m; la segunda con la ampliación de la altura hasta 12 m y la tercera fase, culminada con la clausura total del relleno en 2011, elevó la altura hasta 17m. (Parra Piedrahita, 2012). En esta etapa sí se utilizó impermeabilización de fondo con una membrana de polietileno de alta densidad de 1 mm de espesor.

Aunque el Bordo ya no opera como relleno sanitario, dispone de un área de aproximadamente 30 hectáreas útiles para la implementación de nuevos sistemas de tratamiento (Delgadillo Hernández, 2012)

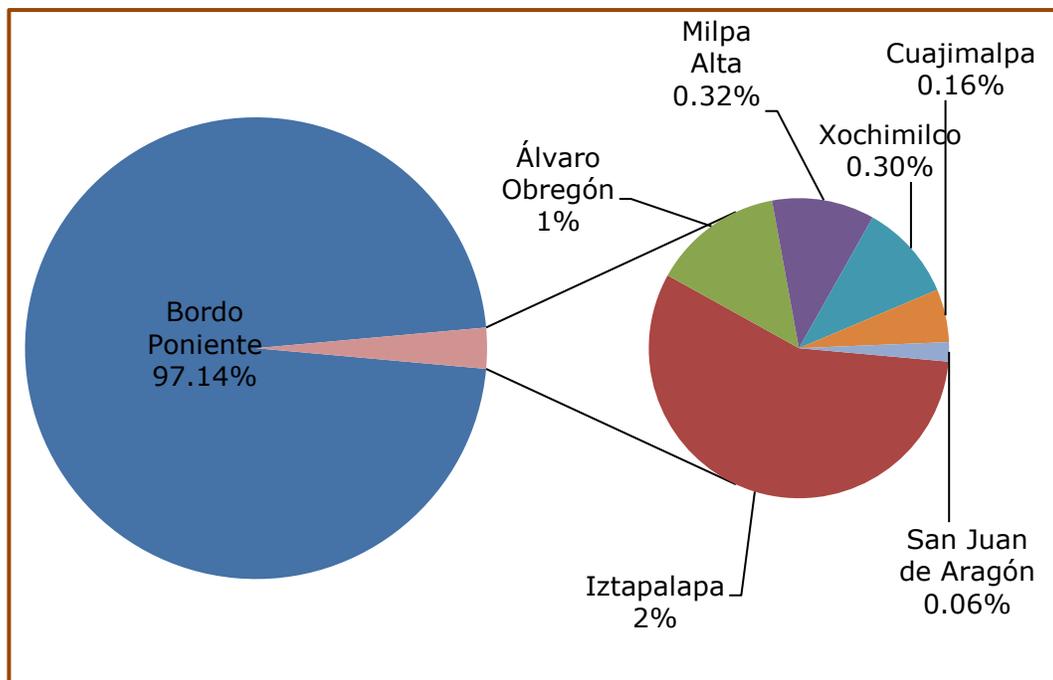
### 3.4. Estudio de caso: Planta de composta de Bordo Poniente (PCBP).

La producción de composta es una alternativa para valorizar los residuos orgánicos mediante la transformación de éstos en un producto nuevo; la composta se obtiene por la acción de microorganismos sobre la materia orgánica. Entre los beneficios que presenta la composta se encuentran: el mejoramiento de las propiedades del suelo, como la capacidad de retención de humedad; proporciona nutrientes para plantas, lo que

estimula su crecimiento; evita que se extraiga suelo "nuevo" de áreas naturales; reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y disminuye considerablemente el volumen de RSU llevados a disposición final (SEDEMA, 2016).

Como se mencionó antes, debido al cierre total del relleno sanitario de Bordo Poniente, hubo un mayor volumen de residuos a los que debía dárseles tratamiento, y dado que la FORSU representa poco más de la mitad de los residuos generados en la CDMX, se optó por un incremento en la capacidad de tratamiento de la Planta de Composta de Bordo Poniente (PCBP) mediante la ampliación de sus instalaciones, maquinaria equipos y personal que se vio reflejado en el aumento de su capacidad de ingreso de 200 toneladas diarias a 2500 toneladas en el año 2012. (SEDEMA, 2016-b).

La PCBP se encuentra en la autopista Peñón-Texcoco, km 2.5, en la Zona Federal de Texcoco; cuenta con una superficie de 300,000 m<sup>2</sup> y 2,170 trabajadores; su localización se muestra en la figura 3.2. Tiene la capacidad para ingresar y procesar hasta 912,500 toneladas de materia orgánica al año, lo que la hace la planta de composta con mayor capacidad de la CDMX (SEDEMA, 2016). En la gráfica 3.5 se muestra la proporción anual de residuos que son llevados a esta planta con respecto a las demás plantas de composta.



**Gráfica 3.5** Proporción de la FORSU que ingresa anualmente a las plantas de composta de la CDMX (Fuente: SEDEMA, 2016).

Las características técnicas y de equipamiento con los que cuenta la Planta de Composta de Bordo Poniente se resumen en las tablas 3.4 y 3.5, respectivamente.

**Tabla 3.4.** Características de la Planta de Composta de Bordo Poniente en el 2014 (Fuente: SEDEMA, 2016-b).

<b>Instalación</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Superficie del predio para colocación del material en proceso:	30,000
Patio para recepción y acondicionamiento de residuos de poda	3,000
Estacionamiento de maquinaria	2,772
Almacén para maduración de composta	800
Área techada para mantenimiento menor de maquinaria y equipos	600
Almacén	264
Oficinas, sanitarios, vestidores y área de comedor y caseta de vigilancia	150

**Tabla 3.5.** Equipamiento de la Planta de Composta de Bordo Poniente (Fuente: SEDEMA, 2016).

<b>Maquinaria o equipo</b>	<b>Cantidad</b>
Tractocamiones	10
Minicargadores	7
Cargadoras frontales o payloaders	6
Volteadoras	5
Molinos	4
Astilladoras	3
Cribas rotatorias	3
Camiones de volteo	2
Tractores	2
Retroexcavadoras	1
Camión para combustible	1
Autobús de traslado de personal	1

El proceso de tratamiento de los residuos que ingresan en la Planta de Composta de Bordo Poniente es el que se conoce como digestión aerobia en pilas, que consta básicamente de ingresar, pesar, recibir y acomodar los residuos en el patio de proceso, según el tipo de residuos para conformar pilas de degradación; tomar parámetros del proceso como humedad y temperatura para determinar el venteo y humectación. El proceso tarda entre 45 y 60 días antes de que el material sea cribado previo a la maduración (SEDEMA, 2016-b).

Una vez obtenida la composta en esta planta, se entrega a la Dirección de Limpia e Imagen Urbana de la DGSU para ser colocada en las áreas verdes de la ciudad, o bien se deposita en el acotamiento del camino de acceso a la planta de composta (SEDEMA, 2016-b).

## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo se describe la metodología que se siguió para llevar a cabo este trabajo, la cual consistió en las etapas que se muestran a continuación (tabla 4.1):

**Tabla 4.1.** Descripción de las etapas del desarrollo experimental.

<b>Etapas</b>	<b>Contenido</b>
1) Trabajo de campo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diseño del muestreo</li><li>• Toma de las muestras</li><li>• Determinación de peso volumétrico.</li><li>• División granulométrica</li><li>• Cuantificación de subproductos</li></ul>
2) Trabajo de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Determinación de humedad</li><li>• Determinación de sólidos volátiles</li><li>• Determinación de sólidos inertes</li></ul>

En las siguientes secciones se describen a detalle cada una de estas etapas.

### 4.1. Material y equipo

Para llevar a cabo el trabajo de campo se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Traje Tyvek
- Botas
- Guantes
- Cubrebocas
- Palas
- Lona de polietileno
- Recipiente cilíndrico de PEAD
- Báscula de 100 kg
- Cinta métrica
- Bolsas de polietileno (tamaños varios)
- Tamices de rejilla (tamaños varios)

El material y equipo que se utilizó para el trabajo de laboratorio se presenta en la siguiente lista:

- Crisoles de porcelana de 4 cm de diámetro
- Guantes de asbesto
- Desecador BOEKEL SCIENTIFIC dricycler
- Estufa Barnstead International, modelo 3510
- Mufla Fisher Scientific
- Balanza analítica Ohaus, sensibilidad de 0.001 g
- Termobalanza SARTORIUS, modelo MA35 con una exactitud de 1mg
- Platillos de aluminio

#### 4.2. Trabajo de campo

Es bien sabido que la caracterización de los RSU es de vital importancia cuando a los siguientes aspectos se refiere:

- Diseño y operación de un sistema integral de manejo de residuos.
- Evaluación de las mejores opciones de tratamiento.
- Optimización de los sistemas de reciclaje y recuperación.

Para ello, es necesario llevar a cabo una caracterización de los residuos o fracción de interés que proporcione certeza sobre su composición y características.

Tomando como base que la composición de los RSU es muy variada y que se puede seguir diversos protocolos para estimarla, basadas en directrices comunes, como el método idóneo para obtener muestras representativas, el tamaño que se desea que ésta tenga y el número de muestreos necesarios para alcanzar el nivel de certeza deseado

(Pichtel, 2005); se implementó la metodología descrita en las siguientes secciones.

Para efectos de nuestro trabajo, el cual tuvo un carácter exploratorio, se optó por un muestreo directo, puesto que es uno de los métodos más precisos existentes dentro de las técnicas de caracterización (Pichtel, 2005), y se realizó en un sitio centralizado; siendo éste la Planta de Composta de Bordo Poniente (PCBP).

#### 4.2.1. Diseño del muestreo

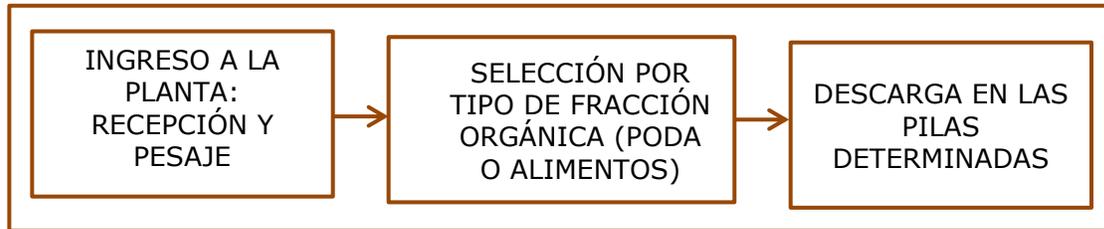
Debido a que la PCBP es la instalación de mayor capacidad en la CDMX y que recibe residuos provenientes de las 12 ET (sección 3.2.1), se decidió llevar a cabo un muestreo aleatorio estratificado, en el cual se tomó como criterio de estratificación la aportación porcentual con la que contribuye cada una las estaciones a la FORSU total que ingresa a la planta.

Para el diseño del muestreo se solicitó a la Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) de la CDMX, la información de la fracción orgánica que ingresa a la PCBP, proveniente de las diversas ET; así como los horarios, horas pico, estación de procedencia de los vehículos y descripción de la metodología de descarga; y se nos proporcionó la información correspondiente al periodo de enero a marzo del 2016.

En el diagrama 4.1 se presenta de forma esquemática el proceso de recepción de la FORSU en la PCBP.

Del análisis de la información recibida se estimó la cantidad de vehículos que ingresan a la PCBP mensual y semanalmente, para cada una de las

ET la afluencia diaria de vehículos; el número de arribos por hora laboral de la planta; con el fin de verificar los días en los que habría que llevar a cabo mayor número de tomas de muestra y el horario óptimo para trabajar. De igual forma se determinó el aporte porcentual de cada ET al total de materia orgánica que llega a dicha instalación (%FORSU).



**Diagrama 4.1.** Recepción de los vehículos ingresados a la PCBP (Fuente: PAOT, 2013).

A partir del número de vehículos que ingresan a la PCBP por ET en una semana (N), se estableció el número de vehículos teórico de cada ET a incluirse en el muestreo con el fin de garantizar su representatividad ( $N_{veh(t)}$ ), con un 95% de confianza, aplicando la siguiente formula.

$$N_{veh(t)} = \left[ \frac{(Z^2) * (N) * (\delta^2)}{((N-1) * (E^2)) + ((Z^2) * (\delta^2))} \right] * 1.25 \quad (4.1)$$

La ecuación 4.1 presenta el cálculo del número de vehículos teóricos; donde:  $N_{veh(t)}$ =número de vehículos que deben ser incluidos en el muestreo; N=número de vehículos que ingresan al área de estudio en una semana; Z=coeficiente de confianza al 95% (1.96);  $\delta$ =desviación estándar (1 Ton/veh/día) y E=error permisible (0.1 Ton/veh/día).

Una vez obtenido el número de vehículos teóricos, se determinó el número de vehículos reales a muestrear de cada ET ( $N_{veh(real)}$ ),

tomando en consideración la contribución de cada una de ellas al total de FORSU que se recolecta en la PCBP, usando la siguiente fórmula:

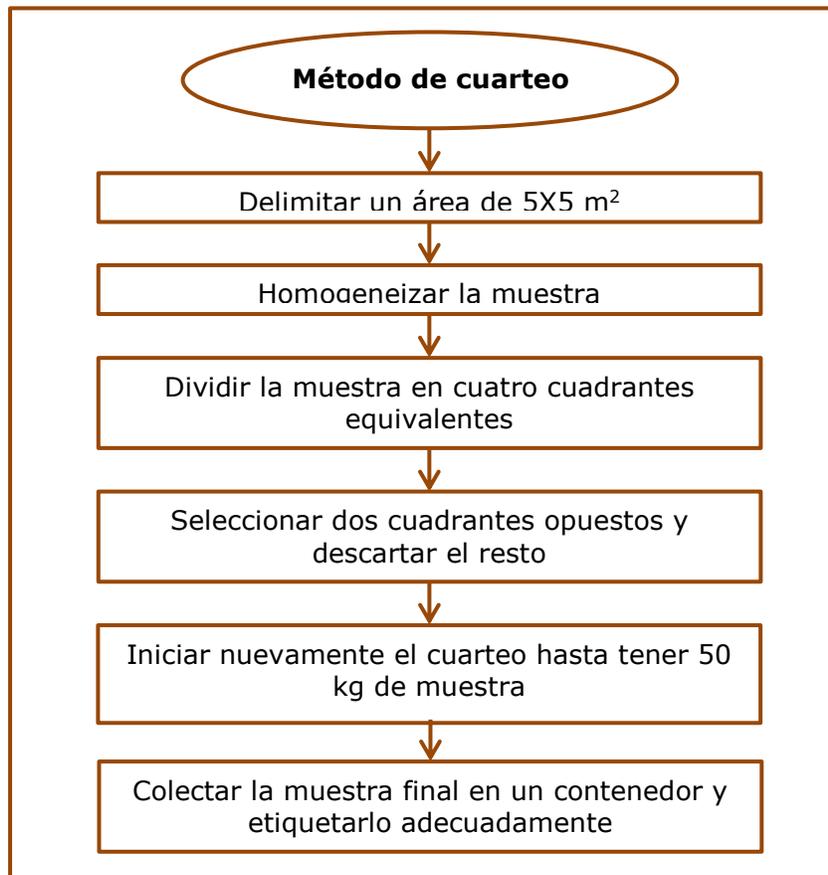
$$N_{veh_{(real)}} = \frac{(\%FORSU) * (N_{veh_{(t)}})}{100} \quad (4.2)$$

Por último se decidió tomar un total de 18 muestras compuestas durante los 7 días de muestreo, por lo que fue necesario calcular, en base al número de vehículos a incluir en el muestreo, el número de vehículos por muestra.

#### 4.2.2. Toma de muestra

Para la toma de las muestras se optó por una selección aleatoria de los vehículos de acuerdo a su disponibilidad y la toma de muestras compuestas de FORSU proveniente de diferentes ET con un peso aproximado de una tonelada.

Una vez obtenida la muestra y trasladada al sitio designado para el trabajo de campo, el siguiente paso a realizar es llevar a cabo el método de cuarteo descrito en la NMX-AA-015-1985, con el fin de disminuir la cantidad de muestra sin perder su representatividad; los pasos seguidos se describen en el diagrama 4.2.



**Diagrama 4.2.** Metodología del método de cuarteo, según la norma NMX-AA-015-1985.

#### 4.2.3. Determinación del peso volumétrico

El peso volumétrico, también llamado peso específico o densidad, es el parámetro que provee la información necesaria para estimar volúmenes de almacenamiento y transporte; es dependiente de otras características físicas de los RSU, tales como el contenido de humedad, forma física y grado de compactación (Pichtel, 2005). Al tratarse de la FORSU se espera un gran peso volumétrico debido al alto contenido de humedad de sus componentes y su alto potencial de compactación.

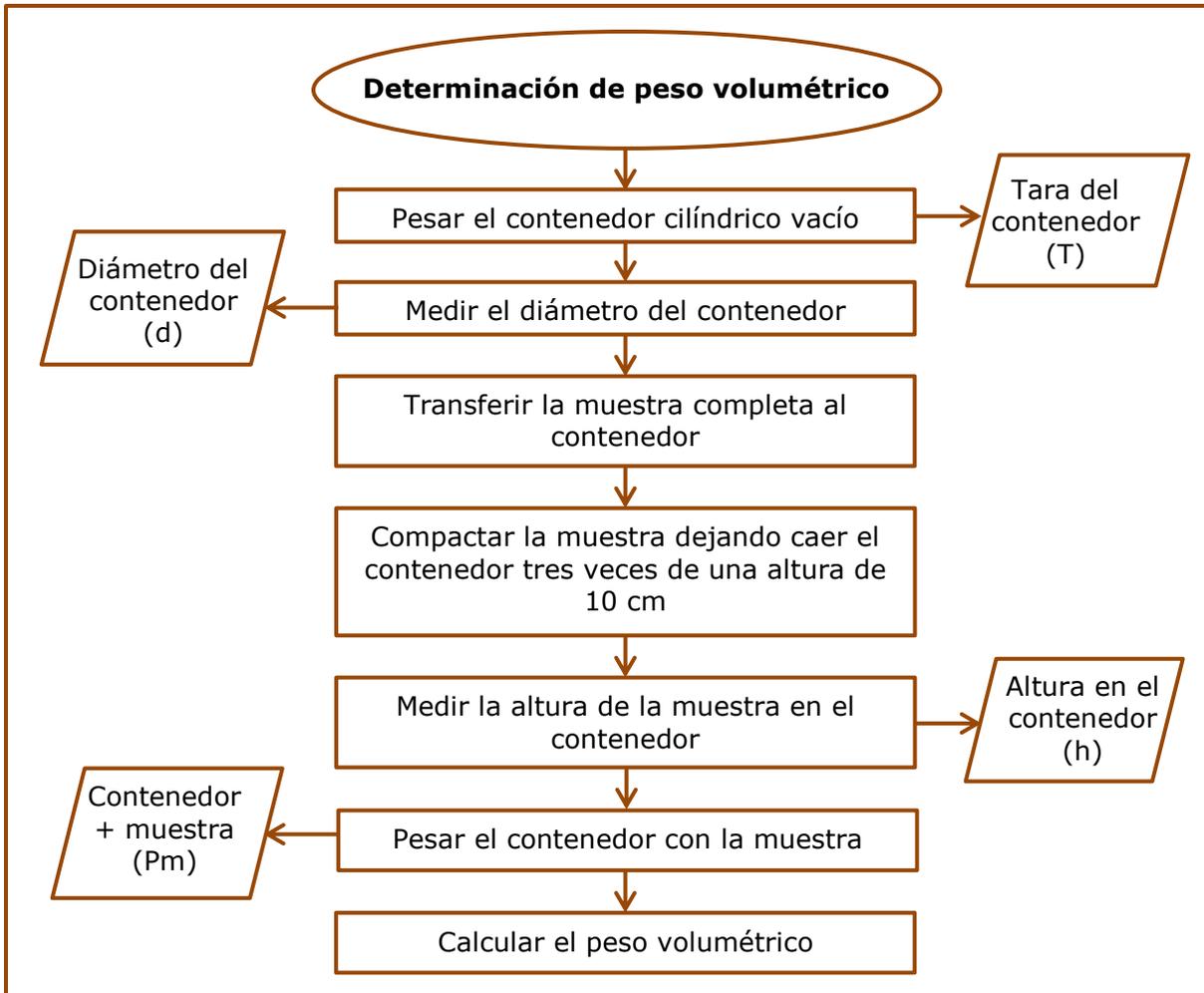
A cada una de las muestras obtenidas mediante el método de cuarteo, se les determinó el peso volumétrico *in situ*, con el fin de evitar, en lo

posible, pérdidas de humedad; siguiendo las directrices marcadas en la norma NMX-AA-019-1985, la cual se presenta en el diagrama 4.3.

Para el cálculo del peso volumétrico (Pv) es necesario dividir el peso real de los residuos (Pr) entre el volumen (V) del cilindro que se genera al introducir la muestra en un contenedor y compactarla. La ecuación 4.3 es la utilizada para tal fin.

$$Pv = \frac{Pr}{V} = \frac{P_m - T}{(\pi) * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * (h)} \quad (4.3)$$

La ecuación 4.3 muestra el cálculo del peso volumétrico de la muestra; donde: P<sub>m</sub>=peso de la muestra más el recipiente, en kg; T=peso del contenedor cilíndrico vacío, en kg; d=diámetro del contenedor, en m; h= altura de la muestra dentro del contenedor después de compactarla, en m.



**Diagrama 4.3.** Metodología para la determinación del peso volumétrico, de acuerdo con la NMX-AA-019-1985.

#### 4.2.4. División granulométrica

El tamaño de partículas y la distribución del diámetro de los componentes que conforman los RSU son características que deben de ser consideradas previo a la implementación de procesos físicos y mecánicos de recuperación, como lo son el cribado y la separación magnética, ya que en función del tamaño se diseñarán los equipos de separación y/o molienda (Colomer y Gallardo, 2010).

En el caso específico de la FORSU, la distribución del tamaño de los componentes sólidos es importante en la optimización de las reacciones químicas a las que ésta se someterá (Pichtel, 2005), por lo que es un parámetro importante en los procesos de compostaje o de digestión anaerobia.

El método más común para determinar esta propiedad es el cribado, que fue el utilizado en este trabajo y, al igual que la determinación del peso volumétrico, se llevó a cabo *in situ* después de haber pesado la muestra. Para ello fue necesario diseñar los tamices adecuados para dividir en fracciones las muestras; la distribución deseada se presenta en la tabla 4.2.

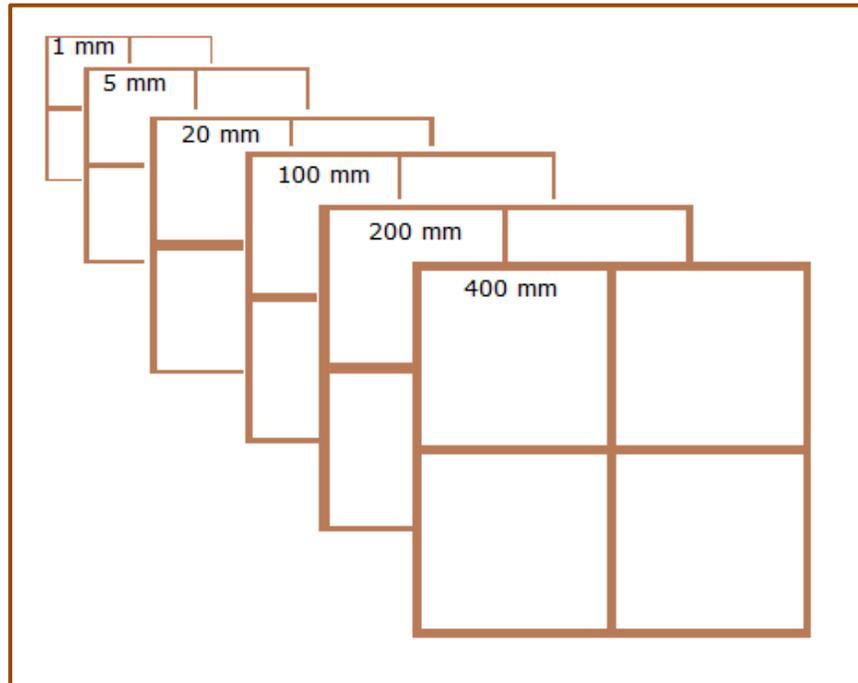
**Tabla 4.2.** División granulométrica deseada.

<b>Fracción</b>	<b>Tamaño de partícula (mm)</b>
I	Mayor a 400
II	200 a 400
III	100 a 200
IV	20 a 100
V	5 a 20
VI	1 a 5

Después de que la muestra fue pesada, se colocó una membrana de PEAD de 2X2 m<sup>2</sup> en el piso firme y sobre esta fueron colocados los tamices, sobrepuestos uno encima del otro, con el tamaño de apertura descendiente, tal como se muestra en la figura 4.1.

Con los tamices apilados, se distribuyó la muestra permitiendo el paso del material a través de estos. Todo aquello que fue retenido en el primer tamiz se considera fracción I y fue separado, etiquetado y

colocado dentro de una bolsa para ser pesado. Este proceso se repitió con cada uno de los tamices, para obtener las fracciones correspondientes.



**Figura 4.1** Distribución de los tamices utilizados para la separación granulométrica.

#### 4.2.5. Selección y cuantificación de subproductos

A pesar de que la legislación mexicana estipula la separación de los residuos desde su origen, es necesario asegurarse de que estos se encuentren adecuadamente separados con el fin de poder implementar sistemas de reciclaje y recuperación de forma eficiente.

Para el caso de la FORSU es importante conocer si existe algún tipo de material indeseado, además de la fracción biodegradable, cómo se puede clasificar en caso de encontrarse presente y la cantidad en que se encuentra; todo con el fin de asegurar la calidad de esta fracción en forma óptima mediante la implementación de algún sistema de pretratamiento, si es conveniente.

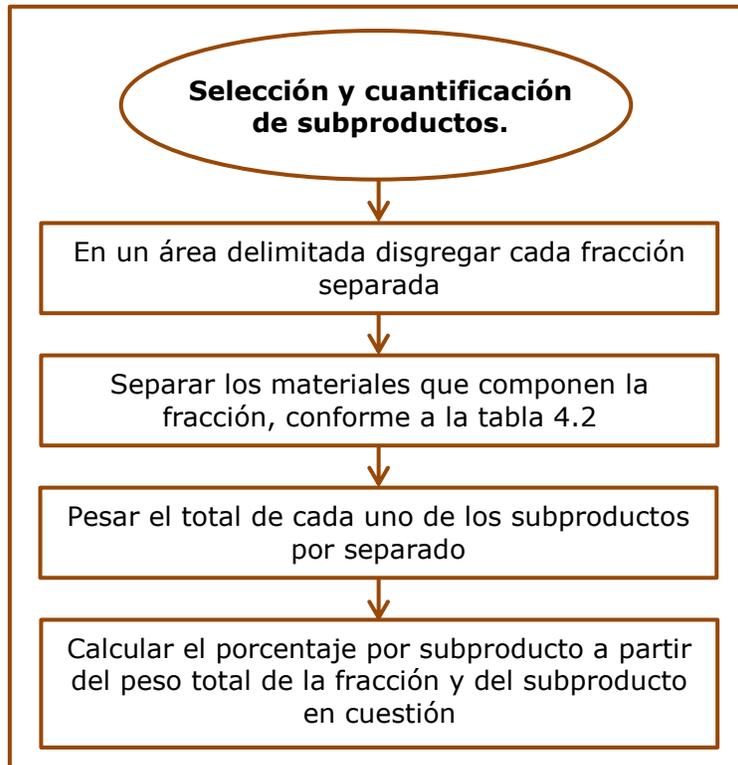
Para este trabajo, se realizó la cuantificación de subproductos en cada una de las fracciones separadas, con el fin de encontrar las que pueden ser mejor aprovechables en algún proceso de transformación químico-biológico.

En la tabla 4.3 se presenta la lista de subproductos que se utilizó como base en la clasificación durante este trabajo. La metodología que se siguió es la descrita en la norma NMX-AA-022-1985 y se presenta en el diagrama 4.4.

**Tabla 4.3.** Lista de subproductos seleccionados para la cuantificación por fracción.

<b>SUBPRODUCTOS</b>		
Residuos de alimentos	Residuos de jardín	Metales ferrosos
Papel	Cartón	Textiles
Pañales	Tetra Pack	Piedras / Cerámica
Plástico PET	Plástico PEAD	Elementos finos
Plástico film	Otros plásticos	Otros
Vidrio	Aluminio	

Una vez cuantificados los subproductos por fracción, se tomó una muestra de la materia biodegradable, restos de comida y jardinería principalmente, de cada una de las fracciones, se empacó y refrigeró hasta su análisis en el laboratorio.



**Diagrama 4.4.** Metodología para la selección y cuantificación de subproductos de acuerdo a la norma NMX-AA-022-1985.

### 4.3. Trabajo de laboratorio

Las características de la FORSU, como se ha mencionado en diversas ocasiones, son dependientes de diversos factores, por lo que es difícil establecer estándares en cuanto a su composición o propiedades. Sin embargo, hay ciertas características de interés común a diversos procesos de tratamiento que son cuantificables y de vital importancia en el diseño de las instalaciones para tal fin.

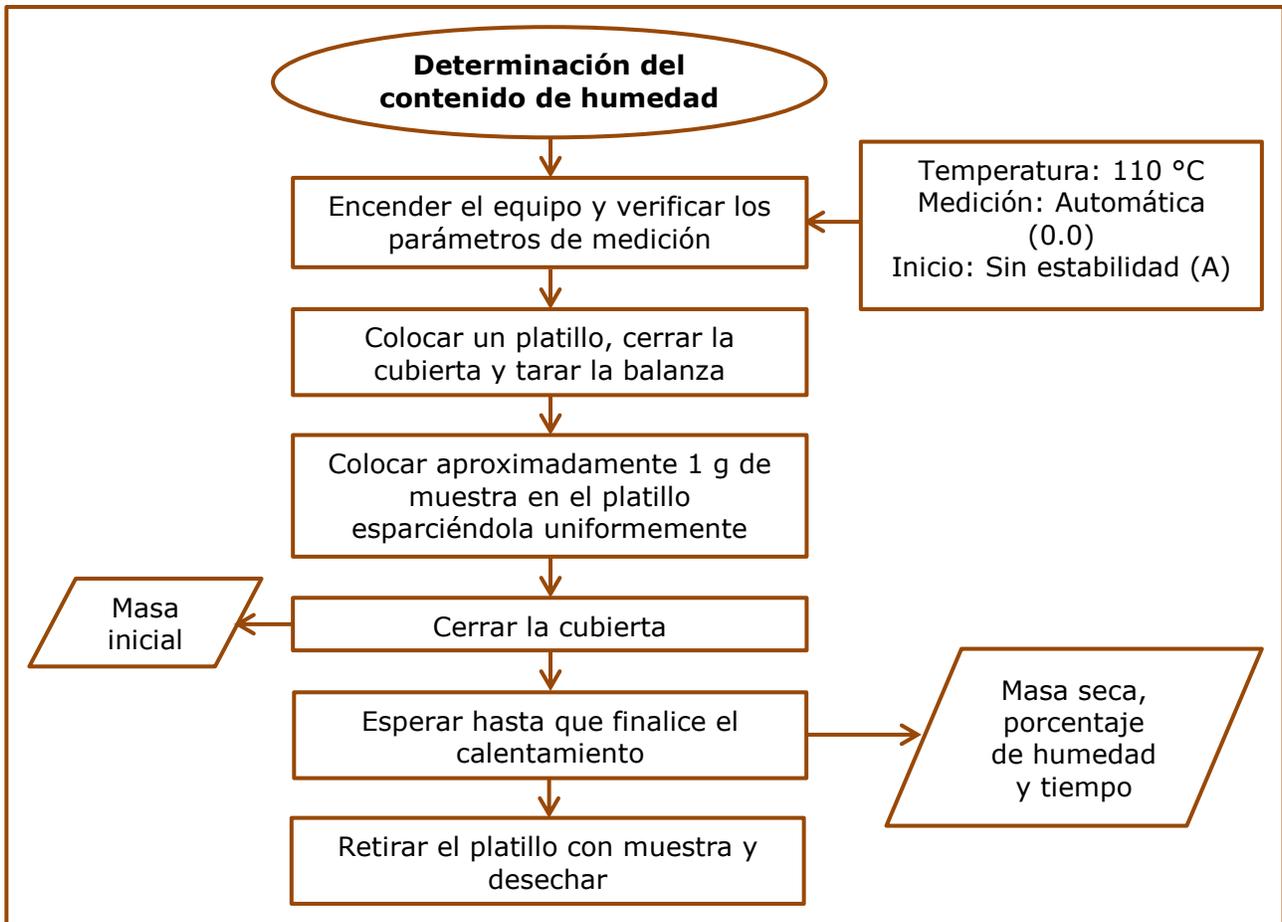
De forma general, las características de la FORSU se dividen en tres categorías: físicas, químicas y biológicas. En la sección 4.1.3 se abordan dos de las principales propiedades físicas más estudiadas y en los siguientes apartados se describe la metodología utilizada en el análisis de otras propiedades.

El método de análisis utilizado en esta parte del trabajo es el llamado *Análisis inmediato*, el cual tiene como principal aplicación la estimación de la capacidad de los residuos como combustible (Pichtel, 2005), aunque la información que dicho método proporciona es de utilidad en otros procesos de tratamiento, como los procesos de transformación biológica. Los estudios más comunes en esta técnica de análisis son: contenido de humedad, sólidos volátiles y cenizas (Pichtel, 2005).

#### 4.3.1. Determinación de humedad

El método tradicional para determinar la humedad de una muestra de RSU es calentando la muestra a 105° C durante una hora y midiendo la pérdida de peso tras dicho calentamiento (Pichtel, 2005). En la legislación mexicana, la norma NMX-AA-016-1985 marca el calentamiento de las muestras a 120° C durante dos horas.

En este trabajo se optó por utilizar una termobalanza SARTORIUS, modelo MA35 con una exactitud de 1mg, la cual proporciona la pérdida de masa, tras calentamiento a 110° C, en porcentaje de humedad hasta obtener una medida de masa constante. La metodología seguida con este instrumento se presenta en el diagrama 4.5.



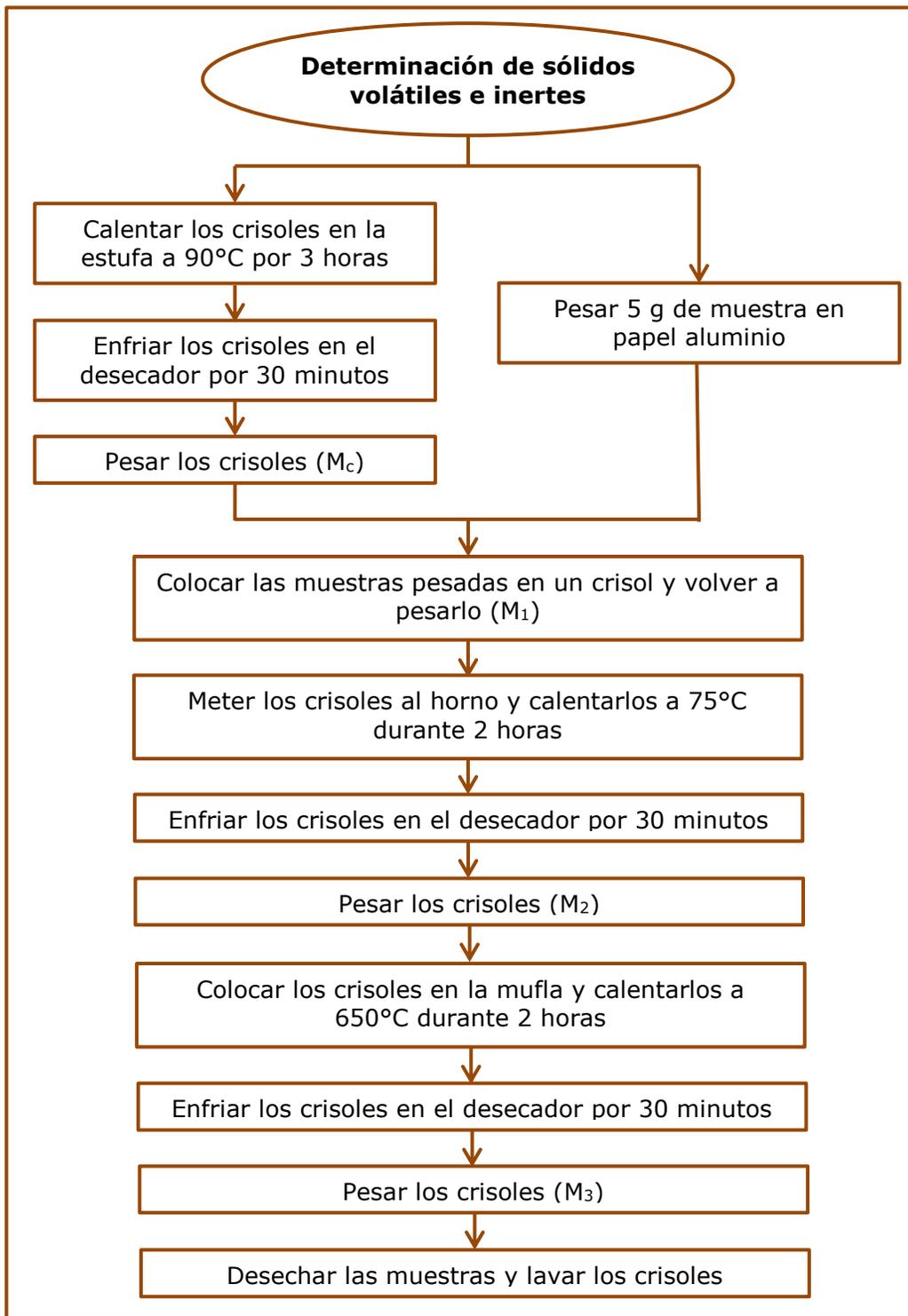
**Diagrama 4.5.** Metodología para la determinación de humedad.

#### 4.3.2. Determinación de sólidos volátiles e inertes

Para fines de este trabajo se siguió un método gravimétrico para la determinación de ambos tipos de sólidos, la cual se describe en el diagrama 4.6 y se utilizó la ecuación 4.4 para la cuantificación del porcentaje de sólidos volátiles (%SV) y la ecuación 4.5 para la de los sólidos inertes (%SI).

$$\%SV = 100 * \left( 1 - \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_c} \right) \quad (4.4)$$

$$\%SI = \frac{(100) * (M_3 - M_c)}{M_1 - M_c} \quad (4.5)$$



**Diagrama 4.6.** Metodología seguida para la determinación de sólidos volátiles e inertes

Los resultados obtenidos de las determinaciones realizadas se presentan en el siguiente capítulo.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Trabajo de campo

A continuación se presentan la información proveniente de la DGSU, cuyo análisis inmediato nos proporcionó los datos necesarios para conocer el aporte de cada ET al total de residuos que se recolectan en la PCBP, así como los días y horarios de mayor afluencia de vehículos a dicho sitio. También se muestra el manejo dado a dicha información con el fin de determinar el tamaño de la muestra y la composición deseada de ésta. Para terminar, se presentan los parámetros medidos en campo.

Se debe mencionar que durante el muestreo se presentaron ciertos contratiempos que dificultaron llevar a cabo la toma de las muestras tal como se había planteado, lo cual es normal al trabajar con muestras ambientales; se hace mención de éstos y la forma en que se sobrellevaron.

#### 5.1.1. Diseño del muestreo

Como se mencionó en la sección 4.2.1, se solicitó a la DGSU la información sobre la procedencia de los vehículos recibidos en la PCBP, la información resumida del ingreso durante enero, febrero y marzo del 2016 se presenta en la tabla 5.1.

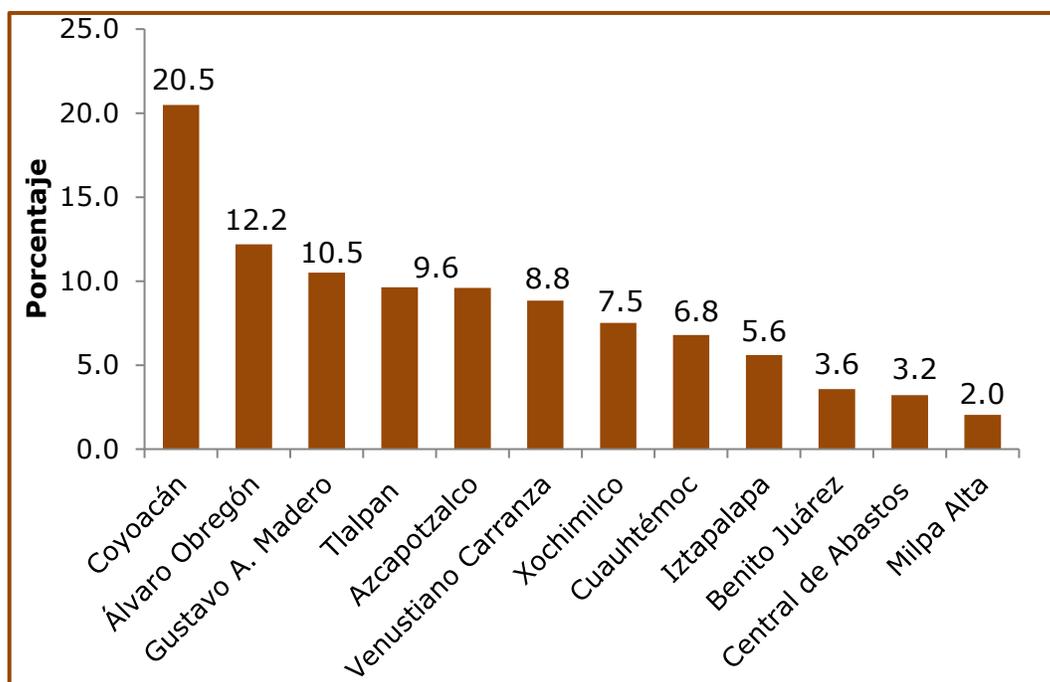
Es notorio que las ET de donde provienen mayor número de vehículos son Coyoacán, Álvaro Obregón y Gustavo A. Madero y las que menos vehículos destinan a esta instalación son Benito Juárez, Central de Abastos y Milpa Alta. La aportación porcentual de vehículos para cada ET, de enero a marzo del 2016, se aprecia mejor en la gráfica 5.1.

**Tabla 5.1.** Vehículos que ingresaron a la PCBP entre enero y marzo del 2016.

<b>Estación de transferencia</b>	<b>Número de vehículos recibidos</b>			
	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Total</b>
Álvaro Obregón (ALO)	140	175	185	500
Azcapotzalco (AZC)	116	143	135	394
Benito Juárez (BEJ)	47	43	57	147
Central de Abastos (CAB)	43	41	48	132
Coyoacán (COY)	306	250	285	841
Cuauhtémoc (CUA)	81	94	104	279
Gustavo A. Madero (GAM)	150	134	147	431
Iztapalapa (IZT)	55	79	96	230
Milpa Alta (MAL)	29	24	31	84
Tlalpan (TLA)	116	124	155	395
Venustiano Carranza (VEC)	117	116	130	363
Xochimilco (XOC)	102	88	118	308

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

Es pertinente aclarar que las ET, a pesar de encontrarse distribuidas delegacionalmente, no deben tomarse como representación de la delegación en la que se ubican; es por ello que las delegaciones con mayor aporte a la generación de residuos (sección 2.2) no son las mismas de las ET que más contribuyen a la FORSU entregada en la PCBP.



**Gráfica 5.1.** Aporte porcentual de vehículos por ET a la PCBP (Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU).

Sin embargo, el hecho de que de una ET dirija a la PCBP un mayor número de vehículos, no significa que la aportación de FORSU sea proporcional, puesto que, como se ha mencionado en diversas ocasiones, las características de los residuos nunca son homogéneas, especialmente en el caso de la fracción orgánica, que se ve altamente alterada por la humedad ambiental o la compactación. Por esta razón, fue necesario calcular el aporte de cada ET al total de materia orgánica que llegó a la PCBP durante los meses de los que se proporcionó información.

En la tabla 5.2 se muestra el resumen de la aportación de cada ET, en toneladas y porcentaje, al total del que dispuso la PCBP entre enero y marzo. La columna de *Cantidad mensual (Ton)* incluye el total por mes para cada ET.

**Tabla 5.2.** Contribución, por ET, al total de FORSU ingresada a la PCBP de enero a marzo del 2016.

<b>ET</b>	<b>Cantidad mensual (Ton)</b>	<b>Cantidad total (Ton)</b>	<b>Contribución porcentual</b>
ALO	3,392.88	11,473.14	<b>12.29</b>
	3,958.56		
	4,121.70		
AZC	3,305.78	11,015.71	<b>11.80</b>
	3,968.85		
	3,741.08		
BEJ	1,055.36	3,291.70	<b>3.52</b>
	991.85		
	1,244.49		
CAB	1,271.43	3,908.57	<b>4.19</b>
	1,249.08		
	1,388.06		
COY	7,317.36	20,542.60	<b>22.00</b>
	6,290.82		
	6,934.42		
CUA	1,367.04	5,061.05	<b>5.42</b>
	1,808.67		
	1,885.34		
GAM	1,982.10	6,553.34	<b>7.02</b>
	2,245.16		
	2,326.08		
IZT	1,564.44	6,696.35	<b>7.17</b>
	2,319.95		
	2,811.96		
MAL	634.72	1,780.33	<b>1.91</b>
	494.63		
	650.98		

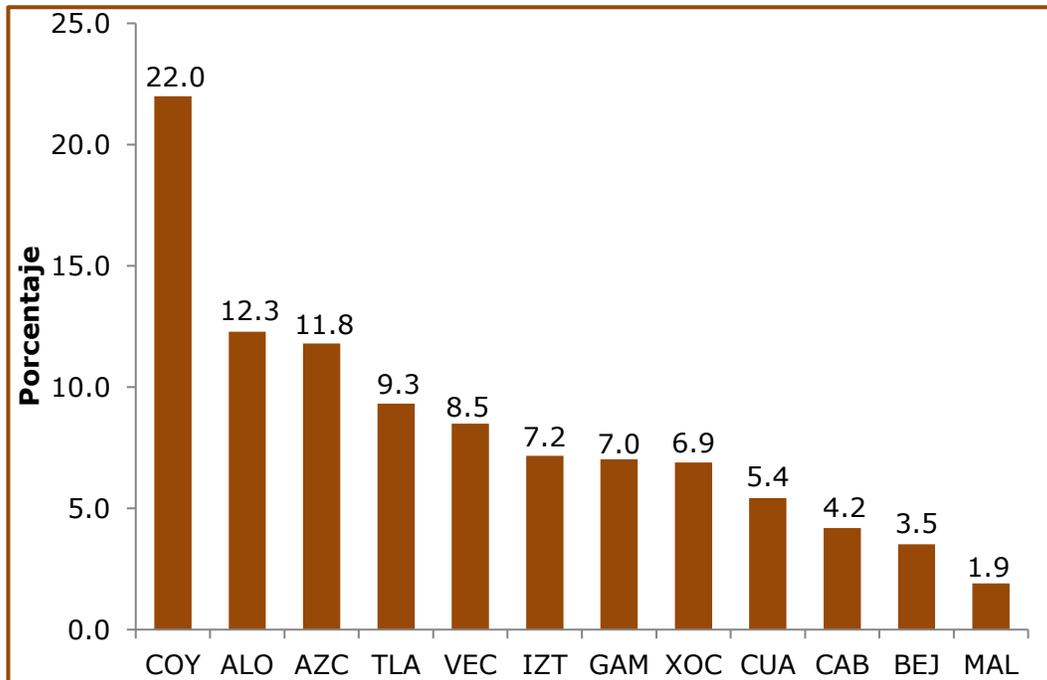
**Tabla 5.2 (continuación).** Contribución, por ET, al total de FORSU ingresada a la PCBP de enero a marzo del 2016.

<b>ET</b>	<b>Cantidad mensual (Ton)</b>	<b>Cantidad total (Ton)</b>	<b>Contribución porcentual (%FORSU)</b>
TLA	2,597.22	8,702.16	<b>9.32</b>
	2,753.54		
	3,351.40		
VEC	2,711.38	7,933.06	<b>8.49</b>
	2,510.61		
	2,711.07		
XOC	1,965.00	6,432.17	<b>6.89</b>
	1,922.64		
	2,544.53		

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

En la gráfica 5.2 se muestra la contribución porcentual de FORSU de cada ET, en la que se aprecia que aquellas que más aportan corresponden a Coyoacán, Álvaro Obregón y Azcapotzalco, sumando casi el 50% del total de fracción orgánica que recibe la PCBP.

Al comparar las gráficas 5.1 y 5.2 se concluye que mayor número de vehículos no corresponde necesariamente a mayor aportación de FORSU, debido a la poca homogeneidad de ésta.



**Gráfica 5.2.** Aporte porcentual de FORSU por ET a la PCBP (Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU).

Otro factor de interés para el diseño del muestreo fue la afluencia de vehículos a la PCBP, por lo cual se ordenó la información con la que se contaba para determinar las horas y los días de mayor arribo. Esta información se presenta en las tablas 5.3 y 5.4 respectivamente. Se aprecia claramente que el horario en el que mayor número de vehículos ingresa a la PCBP es de 10:00 a 16:00 horas, por lo que el muestreo se planeó para realizarse en este lapso de tiempo con el fin de disponer del mayor número de vehículos posible.

**Tabla 5.3.** Ingreso de vehículos por hora a la PCBP de enero a marzo del 2016.

<b>NÚMERO DE VEHÍCULOS</b>				
<b>HORA</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>TOTAL</b>
7:00	7	5	7	<b>19</b>
8:00	40	42	60	<b>142</b>
9:00	61	48	73	<b>182</b>
10:00	96	98	114	<b>308</b>
11:00	123	151	156	<b>430</b>
12:00	136	124	141	<b>401</b>
13:00	132	141	157	<b>430</b>
14:00	142	115	149	<b>406</b>
15:00	126	128	144	<b>398</b>
16:00	112	121	132	<b>365</b>
17:00	108	131	119	<b>358</b>
18:00	94	102	99	<b>295</b>
19:00	79	58	76	<b>213</b>
20:00	42	42	57	<b>141</b>
21:00	4	5	7	<b>16</b>

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

De la tabla 5.4, mostrada a continuación, podemos concluir que los días con mayor ingreso de vehículos son los martes, jueves y sábado ya que en estos días se recolecta el 60% de la FORSU que arriba a la planta; lo cual es de esperarse puesto que la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal estipula la separación en el origen y la recolección selectiva de los RSU. Por lo tanto, en estos días se debe llevar a cabo más tomas de muestra que en los demás días de la semana, para aprovechar la mayor disponibilidad y variación de vehículos.

**Tabla 5.4** Ingreso de vehículos a la PCBP por día de la semana.

<b>Día</b>	<b>Ingreso de vehículo (enero – marzo)</b>	
	<b>Total</b>	<b>Porcentual</b>
Martes	970	23.64
Miércoles	551	13.43
Jueves	809	19.71
Viernes	471	11.48
Sábado	710	17.30
Domingo	177	4.31
Lunes	416	10.14

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

Con la información ordenada como se ha presentado en las tablas anteriores se procedió a calcular el número de vehículos teóricos a muestrear, utilizando la ecuación 4.1 y tomando como referencia el promedio de vehículos que ingresan a la PCBP durante una semana por ET, dividiendo el número total de vehículos entre 13, que son las semanas que comprenden los meses de enero a marzo; puesto que este es el tiempo que se destinará al muestreo. Estos resultados se presentan en la tabla 5.5

**Tabla 5.5.** Número teórico de vehículos a muestrear por ET

ET	Vehículos recibidos		Nveh <sub>(t)</sub>
	Enero - marzo	Promedio semanal (N)	
Álvaro Obregón (ALO)	500	38.46	<b>44</b>
Azcapotzalco (AZC)	394	30.31	<b>35</b>
Benito Juárez (BEJ)	147	11.31	<b>14</b>
Central de Abastos (CAB)	132	10.15	<b>12</b>
Coyoacán (COY)	841	64.69	<b>69</b>
Cuauhtémoc (CUA)	279	21.46	<b>25</b>
Gustavo A. Madero (GAM)	431	33.15	<b>38</b>
Iztapalapa (IZT)	230	17.69	<b>21</b>
Milpa Alta (MAL)	84	6.46	<b>8</b>
Tlalpan (TLA)	395	30.38	<b>35</b>
Venustiano Carranza (VEC)	363	27.92	<b>33</b>
Xochimilco (XOC)	308	23.69	<b>28</b>

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

Con el número de vehículos presentados en la tabla 5.5 se obtiene una muestra total con una confianza del 95%; sin embargo, hay que considerar el aporte de cada ET a la materia orgánica total de la PCBP, por lo que se utilizó la ecuación 4.2 para obtener el número real de vehículos necesarios para tener muestras con un 95% de confianza y que considere la aportación de cada ET a la FORSU total; utilizando la contribución porcentual de cada estación al total de materia orgánica. Los resultados correspondientes al cálculo del número de vehículos reales necesarios en el muestreo se presentan en la tabla 5.6.

**Tabla 5.6** Cálculo del número real de vehículos a muestrear por ET.

<b>ET</b>	<b>Contribución porcentual de FORSU</b>	<b>Nveh<sub>(real)</sub></b>	<b>Nveh<sub>(real)</sub> redondeado</b>
Álvaro Obregón (ALO)	12.29	5.38	<b>5</b>
Azcapotzalco (AZC)	11.80	4.15	<b>4</b>
Benito Juárez (BEJ)	3.52	0.48	<b>1</b>
Central de Abastos (CAB)	4.19	0.52	<b>1</b>
Coyoacán (COY)	22.00	15.26	<b>15</b>
Cuauhtémoc (CUA)	5.42	1.38	<b>1</b>
Gustavo A. Madero (GAM)	7.02	2.68	<b>3</b>
Iztapalapa (IZT)	7.17	1.52	<b>2</b>
Milpa Alta (MAL)	1.91	0.15	<b>1</b>
Tlalpan (TLA)	9.32	3.29	<b>3</b>
Venustiano Carranza (VEC)	8.49	2.77	<b>3</b>
Xochimilco (XOC)	6.89	1.93	<b>2</b>
<b>TOTAL</b>			<b>41</b>

Elaboración propia a partir de la información proporcionada por la DGSU.

Considerando tomar muestras compuestas de por lo menos dos ET distintas, resulta necesario recolectar 21 muestras en total, con el fin de muestrear los 41 vehículos totales, las cuales repartidas en los 7 días de la semana dan un total de 3 tomas de muestra por día. Sin embargo, al realizar el trabajo de campo fue necesario adaptar el número de muestras de acuerdo a la disponibilidad de vehículos.

### 5.1.2. Toma de muestra

El muestreo se llevó a cabo del martes 21 al lunes 27 de junio del 2016 en un horario de 9:00 a 16:00 horas. La toma de muestras se realizó en el sitio de descarga de cada día, el cual cambia constantemente debido

al proceso de maduración de la composta en las diferentes pilas. En las imágenes 1 y 2 se presenta el proceso de toma de muestra.



**Imagen 1.** Toma de la muestra de la zona de descarga.



**Imagen 2.** Traslado de la muestra a la zona de trabajo.

En la tabla 5.7 se resume la información respecto a la composición de cada muestra: la procedencia de los vehículos y el día en que éstas fueron tomadas.

**Tabla 5.7.** Bitácora de trabajo de campo.

Día	Número de muestra	ET de procedencia (No. de placa del vehículo muestreado)			
Martes 21/jun/16	1	CUA (678 DP 8)	IZT (735 DT 9)	VEC (380 EV 3)	COY (975 DH 2)
	2	CAB (765 AG 8)	ALO (24 AA 5 P)	COY (538 AT 4)	IZT (644 ES 1)
	3	MAL (896 DP 6)	ALO (97 AA 3G)	CUA (038 EX 2)	XOC (009 DP 6)
	4	MAL (896 DP 6)	ALO (23 AA 5P)	COY (899 DP 9)	TLA (057 EB 6)
Miércoles 22/jun/16	5	VEC (474 EV 3)	---	---	---
	6	VEC (474 EV 3)	---	---	---
	7	BEJ (79 AB 2U)	---	---	---
Jueves 23/jun/16	8	CUA (678 DP 8)	ALO (13 AA 8F)	CAB (3C3 AJ 5)	---
	9	ALO (362 DG 9)	CAB (993 AJ 4)	CUA (678 DP 8)	
	10	VEC (474 EV 3)	BEJ (78 AB 2U)	XOC (428 E4 9)	TLA (C52 DG 5)
	11	AZC (475 EV 3)	COY (899 DT 9)	TLA (C52 DG 5)	---
Viernes 24/jun/16	12	COY (899 OT 9)	ALO (362 DG 9)	---	---
	13	AZC (867 EE 5)	CAB (3G AC 4E)	---	---

**Tabla 5.7 (continuación).** Bitácora de trabajo de campo.

Día	Número de muestra	ET de procedencia (No. de placa del vehículo muestreado)			
Sábado 25/jun/16	14	AZC (482 EV 5)	TLA (196 AT 8)	---	---
	15	BEJ (78 AB 2U)	COY (900 DT 9)	COY (877 DT 9)	---
	16	BEJ (78 AB 2U)	COY (899 DT 9)	COY (896 DT 9)	---
Domingo 26/jun/16	17	TLA (653 DG 5)	COY (986 DT 9)	---	---
Lunes 27/jun/16	18	AZC (479 2U S)	TLA (198 AT 8)	---	---

Es necesario señalar que, como se esperaba, hubo una gran variabilidad del arribo de los vehículos a la PCBP, lo cual produjo ciertas eventualidades que no permitieron que el muestreo se realizara como se había planeado. Como se observa en la tabla 5.8, no fue posible tomar ninguna muestra de la estación GAM, de otras ET se muestrearon menor número al calculado, sin embargo, esta diferencia se repuso con los vehículos disponibles de diferentes ET. Así mismo, el miércoles hubo menos afluencia de vehículos en el horario del muestreo, por lo que estas no pudieron ser muestras compuestas

**Tabla 5.8.** Número de vehículos teóricos contra reales.

ET	NÚMERO DE VEHÍCULOS	
	Teórico	Real
ALO	5	6
AZC	4	4
BEJ	1	4
CAB	1	4

**Tabla 5.8 (continuación).** Número de vehículos teóricos contra reales.

ET	NÚMERO DE VEHÍCULOS	
	Teórico	Real
COY	15	10
CUA	1	4
GAM	3	0
IZT	2	2
MAL	1	2
TLA	3	6
VEC	3	4
XOC	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>41</b>	<b>48</b>

Después de obtener la muestra compuesta, de alrededor de una tonelada de peso, se llevó a cabo el método de cuarteo (NMX-AA-015-1985) hasta alcanzar un peso aproximado de 25 kg de material. Este proceso se presenta en las imágenes 3 a 5. En la tabla 5.9 se muestran los pesos de las muestras minimizadas.



**Imagen 3.** Homogeneización y delimitación de los cuatro cuadrantes.



**Imagen 4.** Disminución del tamaño por cuarteo.



**Imagen 5.** Obtención de la muestra representativa.

En primera instancia las muestras trabajadas se encontraron altamente “limpias”, es decir, a simple vista no se apreciaba residuos diferentes a la FORSU.

### 5.1.3. Determinación del peso volumétrico

Una vez obtenidas las muestras de 25 kg, se determinó el peso volumétrico siguiendo el método marcado por la norma NMX-AA-019-1985; ésta se colocó en un recipiente cilíndrico, se compactó y se pesó en la báscula. En la tabla 5.9 se presenta el resumen de los pesos volumétricos de las muestras, determinado con la ecuación 4.3

**Tabla 5.9.** Peso volumétrico para las muestras tomadas.

<b>Número de muestra</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso volumétrico (kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	23.110	0.560	0.390	0.067	345.46
2	24.000	0.450	0.390	0.054	446.46
3	22.600	0.400	0.390	0.048	472.97
4	25.535	0.400	0.390	0.048	534.39
5	21.920	0.480	0.390	0.057	382.28
6	22.927	0.450	0.390	0.054	426.50
7	23.111	0.400	0.390	0.048	483.66
8	22.658	0.560	0.390	0.067	338.70
9	25.537	0.560	0.390	0.067	381.74
10	21.634	0.560	0.390	0.067	323.39
11	23.116	0.500	0.390	0.060	387.01
12	22.244	0.560	0.390	0.067	332.51
13	25.287	0.500	0.390	0.060	423.36
14	22.236	0.560	0.390	0.067	332.39
15	24.009	0.560	0.390	0.067	358.89
16	21.965	0.560	0.390	0.067	328.34
17	22.966	0.560	0.390	0.067	343.30
18	25.103	0.560	0.390	0.067	375.25
<b>Promedio</b>					<b>389.81</b>
<b>Desviación estándar</b>					<b>61.89</b>

Puesto que las muestras se tomaron inmediatamente después de su descarga en la PCBP se considera que existe muy poca influencia de las condiciones ambientales en los resultados obtenidos para el peso volumétrico, puesto que esta propiedad está ligada con el contenido de humedad. Sin embargo, hay que mencionar que durante los días de muestreo el clima fue soleado con excepción del viernes 24 de junio (muestras 12 y 13).

El valor promedio del peso volumétrico de la FORSU estudiada fue de 389.81 kg m<sup>-3</sup> y los valores oscilaron entre 323.39 y 534.39 kg m<sup>-3</sup>, dentro de los valores reportados para RSU compactados en rellenos sanitarios (300-900 kg m<sup>-3</sup>) (Pichtel, 2005); lo cual es indicativo de un alto contenido de humedad y de materiales con gran peso y poco volumen, como los residuos de jardinería y un alto potencial de compactación en las muestras.

#### 5.1.4. División granulométrica

Después de haber pesado la muestra para determinar su peso volumétrico, se llevó a cabo el cribado para separar la muestra en sus componentes con base en el tamaño de éstos. Como se especificó en la sección 4.2.4 se utilizaron tamices especialmente diseñados para este trabajo, estos se presentan en la imagen 6 y en la imagen 7 se muestra el cribado que se llevó a cabo.

La división granulométrica de todas las muestras con los seis tamices se presenta en la tabla 5.10.



**Imagen 6.** Arreglo de los tamices para el cribado.



**Imagen 7.** División granulométrica.

**Tabla 5.10.** División granulométrica para las 18 muestras.

Número de muestra	Fracción I (>400 mm) (kg)	Fracción II (200-400 mm) (kg)	Fracción III (100-200 mm) (kg)	Fracción IV (20-100 mm) (kg)	Fracción V (5-20 mm) (kg)	Fracción VI (1-5 mm) (kg)
1	0.00	0.00	0.85	21.24	0.98	0.05
2	0.00	0.00	1.90	20.35	1.65	0.10
3	0.00	0.00	3.50	17.65	1.35	0.10
4	0.00	0.00	5.00	18.40	1.65	0.49
5	0.00	0.00	4.00	15.32	2.50	0.10
6	0.00	0.00	2.63	18.45	1.75	0.10
7	0.00	0.00	1.57	19.72	1.65	0.18
8	2.85	0.00	5.76	13.24	0.75	0.06
9	0.00	7.25	5.38	11.83	0.95	0.13
10	0.00	0.00	11.48	9.24	0.70	0.22
11	0.00	3.10	1.57	15.15	2.55	0.75
12	0.00	0.00	1.15	17.41	3.00	0.69
13	0.00	8.30	2.87	12.99	0.98	0.16
14	0.00	0.00	3.56	16.66	1.80	0.21
15	0.00	0.00	0.09	10.88	12.75	0.29
16	0.00	0.80	0.51	17.98	2.40	0.27
17	0.00	1.38	0.00	17.29	3.95	0.35
18	0.00	0.00	4.18	19.70	1.10	0.13
<b>TOTAL (kg)</b>	<b>2.85</b>	<b>20.83</b>	<b>55.99</b>	<b>293.49</b>	<b>42.45</b>	<b>4.36</b>
<b>% Fracción</b>	<b>0.68</b>	<b>4.96</b>	<b>13.33</b>	<b>69.89</b>	<b>10.11</b>	<b>1.04</b>

De acuerdo con los resultados de la tabla anterior la mayor proporción de los residuos, casi 70%, tienen un tamaño entre 2 y 10 cm (fracción IV). La fracción I (mayor a 40 cm) solo se encontró en una muestra y puede descartarse por ser atípica; la fracción II (entre 20 y 40 cm) se encontró en menos de la mitad de las muestras (5/18).

Adicionalmente, se observa mucha homogeneidad en el tamaño de partícula al interior de las diferentes fracciones, con excepción de la fracción III (entre 2 y 10 cm), la cual presenta variaciones de hasta dos órdenes de magnitud, lo que es indicativo de la presencia de materiales muy ligeros y otros con mayor peso, por ejemplo: cartón mojado vs troncos.

#### 5.1.5. Selección y cuantificación de subproductos

La norma mexicana NMX-AA-091-1987 define subproductos como “los diversos componentes físicos de los residuos sólidos urbanos, susceptibles de ser recuperados” y se entienden por subproductos materiales como el papel, plásticos, vidrio, etc.; es en esta definición en la que se sustenta esta sección de nuestro trabajo.

La selección de éstos se realizó para cada una de las fracciones de las muestras tomadas; separando y pesando cada material individualmente. En la tabla 5.11 se resume la cantidad de subproducto por fracción para todas las muestras y se presenta el porcentaje de cada subproducto.

Como se aprecia en la tabla 5.11 las muestras estudiadas se encontraron “limpias”, puesto que la gran mayoría del peso, casi el 95%, es debido a material orgánico biodegradable: residuos de comida y de jardinería. Sin embargo, entre estos dos tipos de residuos biodegradables, el de mayor proporción fueron los residuos de jardinería (52.3%). Esta diferencia es primordial para el aprovechamiento de la FORSU, independientemente del tratamiento, puesto que se requiere de la degradación de la materia orgánica y los residuos de jardinería presentan un alto contenido de celulosa y lignina que requieren de

condiciones más fuertes para poder ser degradadas, a diferencia de los residuos de comida, con altos contenidos de proteínas, carbohidratos y grasas, más fácilmente biodegradables.

**Tabla 5.11.** Cuantificación de subproductos por fracción para las 18 muestras.

Fracción		I	II	III	IV	V	VI	TOTAL (kg)	Porcentaje subproductos
S U B P R O D U C T O	Residuos de alimentos	0.00	0.00	28.27	147.93	1.63	0.24	178.06	<b>42.40</b>
	Residuos de jardín	0.00	11.73	24.80	138.31	40.57	4.05	219.46	<b>52.26</b>
	Papel	0.00	2.50	0.07	0.65	0.00	0.00	3.22	<b>0.77</b>
	Cartón	0.00	1.70	0.73	0.76	0.00	0.00	3.19	<b>0.76</b>
	Pañales	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Tetra Pack	0.00	0.00	0.02	0.17	0.00	0.00	0.19	<b>0.04</b>
	Plásticos PET	0.00	0.00	0.13	0.04	0.00	0.00	0.17	<b>0.04</b>
	Plásticos PEAD	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	<b>0.05</b>
	Plásticos film	0.00	0.00	0.18	0.19	0.00	0.00	0.36	<b>0.09</b>
	Otros plásticos	0.00	4.35	0.90	2.24	0.05	0.00	7.53	<b>1.79</b>
	Metales ferrosos	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	<b>0.00</b>
	Aluminio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Textiles	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Vidrio	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Piedras / Cerámica	0.00	0.00	0.00	0.30	0.17	0.07	0.54	<b>0.13</b>
	Elementos finos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
	Otros	2.85	0.55	0.70	2.89	0.03	0.00	7.01	<b>1.67</b>

Los siguientes materiales encontrados en mayor proporción, cercana al 2% cada uno, fueron plásticos distintos a PET; PEAD o film, y otros materiales, como esponja o madera; siendo estos últimos candidatos a descartarse puesto que, a pesar de encontrarse en 5 de las 6 fracciones, nos es posible agruparlos en un solo conjunto debido al gran espectro de materiales que se abarcan con este subproducto. Los materiales que no se encontraron en ninguna de las fracciones fueron pañales, vidrio, metales férreos, textiles y aluminio

Debido a que casi el 70% de los residuos se encontraron en la fracción III (tabla 5.10) era de esperarse que se encontraran más subproductos en dicha fracción, lo que sucedió puesto que se encontraron 11 de los 17 materiales esperados; esta misma relación se puede apreciar en las demás fracciones: entre mayor proporción de la fracción, mayor número de subproductos encontrados.

## 5.2. Trabajo de laboratorio

Los resultados que se presentan en esta sección corresponden al promedio de dos repeticiones por determinación. Únicamente se llevaron a cabo dos debido a inconvenientes de tiempo, para evitar que se acumularan las muestras ya que el tiempo de acondicionamiento de los crisoles y el tiempo de la determinación tardaban varias horas; de equipo, por el tamaño de la estufa y la mufla y por la cantidad de crisoles disponibles.

### 5.2.1. Determinación de humedad

En la tabla 5.12 se presentan los resultados de cada fracción para cada una de las 18 muestras tomadas.

**Tabla 5.12.** Porcentaje de humedad por fracción de todas las muestras.

Número de muestra	FRACCIÓN					
	I	II	III	IV	V	VI
1	---	---	80.92	68.29	66.51	51.56
2	---	---	85.20	75.52	70.08	66.94
3	---	---	74.86	75.07	78.19	49.41
4	---	---	74.13	72.00	69.51	46.73
5	---	---	70.46	80.14	41.47	42.46
6	---	---	81.87	88.11	87.07	67.16
7	---	---	87.59	81.15	74.16	53.45
8	81.16	---	18.70	89.14	88.51	78.48
9	---	63.35	83.67	82.74	61.43	63.55
10	---	---	76.30	79.18	78.81	50.59
11	---	62.17	64.04	65.15	68.01	52.42
12	---	---	54.65	79.47	70.08	26.71
13	---	68.09	86.70	64.79	64.43	27.10
14	---	---	91.34	88.16	60.50	51.09
15	---	---	4.07	55.19	59.44	52.47
16	---	77.06	90.63	86.37	72.18	54.07
17	---	67.44	---	81.44	64.09	51.05
18	---	---	92.58	80.65	76.16	52.26
<b>Promedio</b>	<b>81.16</b>	<b>67.62</b>	<b>71.63</b>	<b>77.36</b>	<b>69.48</b>	<b>52.08</b>

Al interior de los resultados existe una gran variación puesto que las muestras presentan un contenido de humedad desde 4.01% hasta 92.58%; sin embargo, es notorio que de forma general el contenido de humedad aumenta de la fracción III (100 a 200 mm) a la fracción IV (20 a 100 mm) y después disminuye.

La fracción IV (20 a 100 mm) presentó el mayor contenido de humedad, cercano al 80% (se descarta la fracción I por considerarla atípica), lo cual puede asociarse a su alto contenido de material biodegradable,

principalmente con los restos de comida, ya que éstos son los que presentan mayor contenido de humedad *per se*. Consistente con esta suposición, el contenido de humedad tiende a disminuir en las demás fracciones conforme disminuye el contenido de restos de comida. Esta tendencia se aprecia mejor en la gráfica 5.3.

### 5.2.2. Determinación de sólidos volátiles e inertes

Los resultados presentados en este apartado deben ser considerados como parte de la materia seca total, por lo que no pueden ser sumados a los resultados del apartado de humedad para general el total de la FORSU estudiada.

Los resultados de la determinación de sólidos volátiles (SV) se presentan en la tabla 5.13 y los de la determinación de sólidos inertes (SI) en la tabla 5.14.

**Tabla 5.13.** Contenido porcentual de sólidos volátiles.

Número de muestra	FRACCIÓN					
	I	II	III	IV	V	VI
1	---	---	41.24	43.56	44.83	56.49
2	---	---	44.89	33.59	44.65	54.16
3	---	---	34.59	54.72	58.21	62.30
4	---	---	58.07	50.80	47.66	52.13
5	---	---	41.91	53.30	63.45	59.27
6	---	---	36.02	45.27	49.75	50.40
7	---	---	36.59	42.84	47.64	50.82
8	79.78	---	55.15	64.92	54.63	59.14
9	---	45.48	32.19	43.45	55.19	60.17
10	---	---	48.02	38.58	52.22	59.19
11	---	43.52	35.06	39.65	47.96	50.52
12	---	---	54.78	49.33	47.41	73.56

**Tabla 5.13 (continuación).** Contenido porcentual de sólidos volátiles.

Número de muestra	Porcentaje de sólidos volátiles					
	I	II	III	IV	V	VI
13	---	47.38	48.02	44.56	53.61	65.23
14	---	---	56.25	58.84	64.96	67.45
15	---	---	95.85	55.92	48.26	54.39
16	---	58.01	51.44	44.43	50.22	56.34
17	---	44.37	---	53.46	56.68	60.17
18	---	---	51.72	58.21	55.14	59.22
<b>Promedio</b>	<b>79.78</b>	<b>47.75</b>	<b>48.34</b>	<b>48.63</b>	<b>52.36</b>	<b>58.39</b>

El contenido de SV se encuentra entre 32.19% y 95.85%. De forma general, no es muy grande la diferencia del contenido promedio de SV entre las fracciones II a IV, pero después se observa la tendencia al aumento del contenido de estos sólidos conforme disminuye el tamaño de partícula, donde también disminuye la relación restos de comida/restos de jardinería.

**Tabla 5.14.** Contenido porcentual de sólidos inertes

Número de muestra	FRACCIÓN					
	I	II	III	IV	V	VI
1	---	---	3.58	7.48	8.21	25.41
2	---	---	1.27	4.60	5.63	22.23
3	---	---	3.83	7.79	6.23	20.65
4	---	---	2.80	9.01	8.09	20.93
5	---	---	2.85	2.06	6.30	10.26
6	---	---	2.05	1.66	15.15	12.92
7	---	---	3.12	9.12	6.98	16.87
8	2.59	---	2.16	1.58	5.13	19.54
9	---	4.80	3.20	1.67	4.40	13.68
10	---	---	4.33	4.88	8.27	28.98
11	---	5.18	1.98	6.85	11.46	19.04

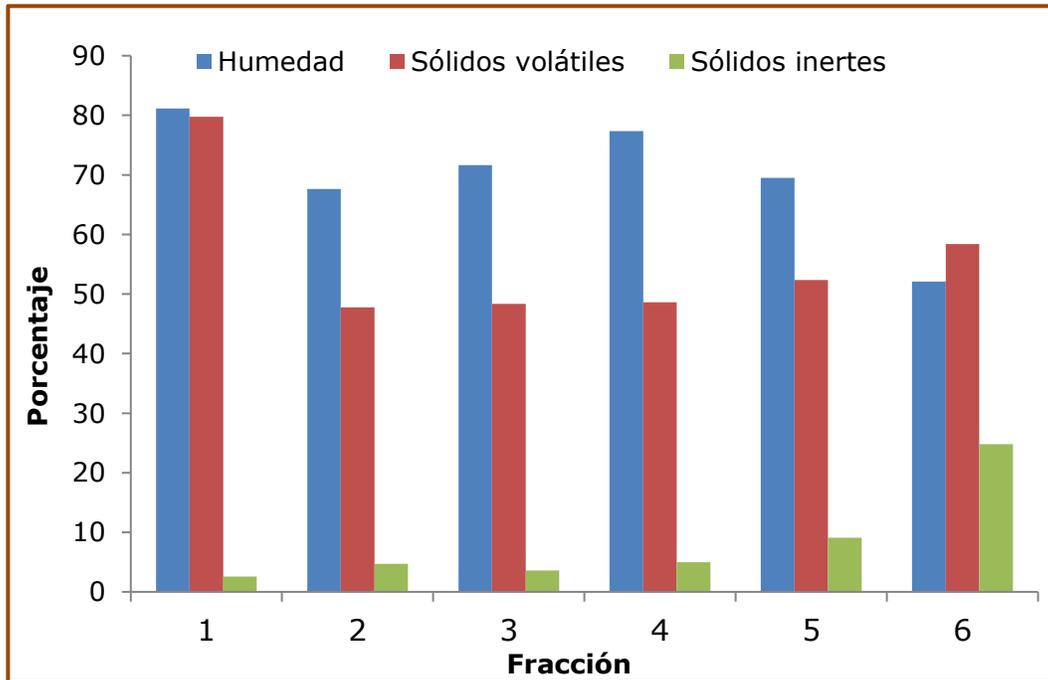
**Tabla 5.14 (continuación).** Contenido porcentual de sólidos inertes

Número de muestra	FRACCIÓN					
	I	II	III	IV	V	VI
12	---	---	8.80	9.08	15.89	59.78
13	---	5.37	3.86	6.86	15.99	47.78
14	---	---	3.27	4.59	11.99	31.06
15	---	---	9.61	4.67	7.89	30.84
16	---	4.67	1.72	3.02	9.17	26.68
17	---	3.6	---	1.96	9.10	20.34
18	---	---	2.41	2.88	7.65	18.89
<b>Promedio</b>	<b>2.59</b>	<b>4.72</b>	<b>3.58</b>	<b>4.99</b>	<b>9.09</b>	<b>24.77</b>

De forma general el contenido de inertes se encuentra entre 1.27% hasta 59.78% y es muy notorio que éste aumenta conforme disminuye el tamaño de partícula y la relación de restos de comida/restos de jardinería, por lo que la fracción VI es la que presenta el mayor contenido.

Para las dos fracciones que representan más del 80% de los residuos, fracción III y IV, el contenido es relativamente bajo, 3.58% y 4.99% respectivamente, si se les compara con el de la fracción VI, 24.77%.

Para ambas determinaciones, SV y SI, el amplio espectro de resultados se justifica por la poca homogeneidad de los materiales que componen las muestras. La tendencia de estos resultados, así como los correspondientes a la determinación de la humedad, se presentan en la gráfica 5.3.



**Gráfica 5.3.** Tendencia del contenido de humedad, sólidos volátiles e inertes para las seis fracciones.

Con la gráfica anterior se hace claro que la humedad de la FORSU estudiada es directamente proporcional al contenido de material de cada fracción, puesto que la fracción IV (entre 2 a 10 cm) es la que presenta mayor porcentaje de humedad, sin tomar en cuenta la fracción I puesto que se considera atípica. Los sólidos, tanto volátiles como inertes tienden a aumentar conforme disminuye el tamaño de partícula.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se realizó un muestreo exploratorio, estratificado de los residuos que recibe la Planta de Composta de Bordo Poniente mediante la toma de 18 muestras de la fracción orgánica proveniente de 11 de las 12 estaciones de transferencia de la Ciudad de México.

El peso volumétrico de las muestras estudiadas fue  $389.91 \text{ kg m}^{-3}$ , lo cual es congruente con los valores que se reportan para residuos de comida,  $290 \text{ kg m}^{-3}$  (Pichtel, 2005); y con valores de RSU compactados de rellenos sanitarios que se reportan entre  $300$  y  $9000 \text{ kg m}^{-3}$  (Pichtel, 2005). La alta densidad que presenta la FORSU estudiada se debe principalmente al alto contenido de humedad y componentes con alto peso, como los residuos de jardinería.

Cerca del 70% de las muestras presentaron un tamaño entre 2 y 10 cm, sin embargo, se encontraron cantidades importantes de materiales de mayor tamaño, 18.29%, principalmente ramas y troncos.

Casi el 95% de las muestras estaban compuestas por residuos biodegradables, restos de comida y jardinería principalmente, lo cual es indicativo de la adecuada separación en el origen y recolección diferenciada. Sin embargo, en las fracciones I, II, V y VI es mayor la cantidad de residuos de jardinería que de comida, haciendo que en el total la proporción de restos de jardinería sea 10% mayor que la de comida.

El contenido de humedad de las muestras por fracción es proporcional al contenido de residuos de alimentos, debido al alto contenido de agua de

estos residuos, siendo la fracción IV (2-10 cm) la de mayor contenido de residuos de comida (147.93 kg) y de humedad (77.36%).

Para el caso de sólidos volátiles e inertes, los valores de estos tienden a aumentar conforme disminuye el tamaño de los componentes de las muestras al igual que conforme disminuye la relación de restos de comida/restos de jardinería; siendo la fracción VI (1-5 mm) la que presentó mayor contenido de sólidos volátiles e inertes.

Recomendamos realizar la separación de la FORSU en dos categorías: residuos: jardinería y alimentos, ya que de esta forma sería más fácil separar la fracción más fácilmente biodegradable.

En caso de utilizarse la fracción orgánica tal cual se encontró en este estudio, recomendamos trabajar solamente con las fracciones III y VI (material cuyos componentes presentan un tamaño entre 20 y 200 mm), puesto que de esta forma tendríamos una mayor proporción de residuos de comida (50.01%) que de residuos de jardinería (46.30%) y se eliminarían las fracciones con mayor contenido de sólidos inertes y restos de jardinería; además de que la pérdida de materia total sólo representaría el 16.11%.

Dado que se encontró un bajo contenido de sólidos inertes en las muestras estudiadas, es posible que este material sirva de sustrato para el proceso de biodigestión, aunque se recomienda realizar un pre-acondicionamiento, como trituración o molienda, con el fin de reducir el tamaño de partícula.

La termovalorización es otra alternativa que puede ser viable para este tipo de material, previo análisis de factibilidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México (AGU). (2017). Nota: "Anuncia GCDMX falló de licitación de una planta de termovalorización de Residuos Sólidos Urbanos" <http://www.agu.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/anuncia-gcdmx-fallo-de-licitacion-para-la-construccion-de-una-planta-de-termovalorizacion-de-residuos-solidos-urbanos>. Consultado el 04/09/17.
- Aguilar Cruz, A. N. y Contreras Durán, J. J. (2008). "Beneficios económicos, ambientales y sociales asociados al uso de tecnologías de gasificación en el tratamiento de residuos sólidos urbanos en México". Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM. México, D. F.
- Colomer Mendoza, F. J. y Gallardo Izquierdo, A. (2010) Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos. Limusa, México.
- Congreso Constituyente de los Estados Unidos Mexicanos (CCEUM). (1917). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de febrero de 2017. Recuperado de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_240217.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_240217.pdf).
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de enero de 2017. Recuperado de: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_240117.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_240117.pdf)
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (1992). Ley Federal sobre Metrología y Normalización Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de diciembre de 2015. Recuperado de:

- [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130\\_181215.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/130_181215.pdf).
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (2000). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2014. Recuperado de:  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGEEPA\\_MEIA\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MEIA_311014.pdf).
  - Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (2000-b). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de mayo de 2014. Recuperado de:  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGEEPA\\_ANP.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_ANP.pdf).
  - Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de mayo de 2015. Recuperado de:  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_220515.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf).
  - Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (2006). Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2014. Recuperado de:  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGPGIR\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf).
  - Congreso de los Estados Unidos Mexicanos (CEUM). (2010). Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Autorregulación y Auditorías Ambientales.

Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 31 de octubre de 2014. Recuperado de:

[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGEEPA\\_MAA\\_A\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGEEPA_MAA_A_311014.pdf).

- Delgadillo Hernández, N. A. (2012). "Estudio de prefactibilidad para la implementación de un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos con generación de energía para el Distrito Federal". Tesis de maestría, Programa de maestría y doctorado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D. F.
- Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU). (2004). Cierre de la Etapa IV del relleno sanitario Bordo Poniente. Informe Preventivo. Recuperado de: <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/mex/estudios/2004/15EM2004U0019.pdf>.
- Flores Santiago, J. L. (2015). "Producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en un digestor anaerobio vía seca". Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM. México, D. F.
- Garcés Rodríguez, M. J. (2010). "Caracterización de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal mediante muestreo para su valorización y disposición final". Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM. México, D. F.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). (2000). Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 30 de julio de 2017. Recuperado de: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-b02170de16930dbc541dd2dd1425d753.pdf>.

- Gobierno del Distrito Federal (GDF). (2003). Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Última reforma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 18 de noviembre de 2015. Recuperado de: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-2cdc95f688b0f9cdc82b670897acdd22.pdf>.
- Hoornweg, D. y Bhada-Tata, P. (2012) Waste generation, en *What a waste, A global review of solid waste Managment*. Urban Development Series. World Bank. Washington, D. C. Recuperado de: <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/Chap3.pdf>.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Anuario estadístico y geográfico de los Estados Unidos Mexicanos 2016. Recuperado de: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/AEGEUM\\_2016/702825087340.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AEGEUM_2016/702825087340.pdf).
- Jiménez Martínez, N. M. (2015). La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. N° 17. 29-56.
- Mendoza Cariño, M. (2007). "Análisis de la normatividad mexicana para el manejo de residuos sólidos municipales, caso Bordo Poniente". Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, D. F.
- Nájera Aguilar, H. A.; Gómez Ramos, J. M.; García Lara, C.; Gutiérrez Hernández, R.; Rojas Valencia, M. N. (2010). Manejo de biogás y lixiviados en rellenos sanitarios del centro de México, un panorama general. *Lacandonia* Año 4, 4 (20). 117-131.
- Parra Piedrahita, M. P. (2012). "Aspectos geotécnicos para evaluar el comportamiento de la IV etapa del relleno sanitario Bordo Poniente".

Tesis de doctorado, Programa de maestría y doctorado en Ingeniería, Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D. F.

- Pichtel, J. (2005) Waste Managment Practices. Municipal, Hazardous and Industrial. Taylor & Francis Group, USA.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT); Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del IPN. (2013). Diagnóstico actual del flujo de residuos sólidos urbanos que se genera en el Distrito Federal. Recuperado de:  
[http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/flujo\\_residuos\\_DF.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/flujo_residuos_DF.pdf)
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA). (2016). Inventario de Residuos Sólidos Ciudad de México 2015. Recuperado de:  
<http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf>.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México (SEDEMA). (2016-b). Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) 2016-2020. Recuperado de:  
<http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. Recuperado de:  
[http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestion\\_residuos/pnpgir.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/gestion_residuos/pnpgir.pdf).
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2015. Recuperado de:  
<http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/index.html>.

## ANEXO: Contenido de legislaciones mexicanas en materia de RSU

**Anexo 1.1.** Contenido de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de RSU (Fuente: CEUM, 1988).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Titulo Primero. Capítulo I.	3°; XXII	Definición de residuo
	7°; VI	Corresponde a los estados la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales no considerados peligrosos.
	8°; IV	Corresponde a los municipios la aplicación de disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales no considerados peligrosos.
Titulo Cuarto. Capítulo I.	109 BIS	La Secretaría, los estados, el Distrito Federal y los Municipios, deberán integrar un registro de emisiones y transferencia de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos de su competencia, así como de aquellas sustancias que determine la autoridad correspondiente.
Titulo Cuarto. Capítulo III.	120; IV	Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local la descarga de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos renovables.
	120; VII	Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local el vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Titulo Cuarto. Capítulo IV.	134; II	Para la prevención y control de la contaminación del suelo deben ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de suelos.
	134; III	Para la prevención y control de la contaminación del suelo es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reúso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.
	135; II	Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en la operación de los sistemas de limpia y disposición final de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios.
	135; III	Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran en la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.
	136; I-IV	Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar la contaminación del suelo, las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos, las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación y riesgos y problemas de salud.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Titulo Cuarto. Capítulo IV.	137	Queda sujeto a la autorización de los municipios o el D.F., conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento reúso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales. Además, la Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.
	138; I-II	La Secretaría promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para la implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales; y la identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales.
	140	La generación, manejo y disposición final de los residuos de lenta degradación deberá sujetarse a lo que se establezca en las normas oficiales mexicanas que al respecto expida la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Economía.
	141	La Secretaría, en coordinación con las Secretarías de Economía y de Salud, expedirá normas oficiales mexicanas para la fabricación y utilización de empaques y envases para todo tipo de productos, cuyos materiales permitan reducir la generación de residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto: Protección al Ambiente. Capítulo IV: Prevención y Control de la Contaminación del Suelo.	142	En ningún caso podrá autorizarse la importación de residuos para su derrame, depósito, confinamiento, almacenamiento, incineración o cualquier tratamiento para su destrucción o disposición final en el territorio nacional o en las zonas en las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Las autorizaciones para el tránsito por el territorio nacional de residuos no peligrosos con destino a otra Nación, sólo podrán otorgarse cuando exista previo consentimiento de ésta.

\*Cada vez que se hace mención a *la Secretaría*, se refiere a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

**Anexo 1.2.** Contenido de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de RSU (Fuente: CEUM, 2003).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero. Capítulo Único.	1	Se establece que la ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional; así como las bases para el manejo integral de los residuos.
	2	Principios a observar en la formulación y conducción de la política en materia de prevención, valorización y gestión integral de los residuos, la expedición de disposiciones jurídicas y la emisión de actos que de ella deriven, así como en la generación y manejo integral de residuos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero. Capítulo Único.	3; I y IV	Medidas consideradas de utilidad pública: aquellas necesarias para evitar el deterioro o la destrucción que los elementos naturales puedan sufrir por la liberación al ambiente de residuos y las acciones de emergencia para contener los riesgos a la salud derivados del manejo de residuos.
	5	Definiciones útiles para la ley en cuestión.
Título Segundo. Capítulo Único.	6	La Federación, las entidades federativas y los municipios, ejercerán sus atribuciones en materia de prevención de la generación, aprovechamiento, gestión integral de los residuos, de prevención de la contaminación de sitios y su remediación, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta Ley y en otros ordenamientos legales.
	7	Específica las facultades de la Federación en cuanto a residuos se trate, como la expedición de instrumentos jurídicos; diseño de acciones voluntarias tendientes a la minimización de la generación de residuos; etcétera.
	9	Específica las facultades de las Entidades Federativas, como expedir ordenamientos jurídicos y vigilar su cumplimiento, establecer el registro de planes de manejo; entre otras.
	10	Las facultades por las que los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo Único.	15	Indica las necesidades por las que la Secretaría agrupará y subclasificará los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial en categorías, con el propósito de elaborar los inventarios correspondientes, y orientar la toma de decisiones basada en criterios de riesgo y en el manejo de los mismos.
	18	Los residuos sólidos urbanos podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria.
	20	La clasificación de los residuos sólidos urbanos sujetos a planes de manejo se llevará a cabo de conformidad con los criterios que se establezcan en las normas oficiales mexicanas que contendrán los listados de los mismos y cuya emisión estará a cargo de la Secretaría.
Título Cuarto. Capítulo I.	26	Contenido mínimo que deben contener los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que deberán elaborar las entidades federativas y los municipios.
Título Cuarto. Capítulo II.	27	Fines y objetivos por los que se establecen los planes de manejo.
	28	Descripción de los sujetos obligados a la formulación y ejecución de los planes de manejo.
	30	Criterios por los que se determina si un residuo está sujeto a planes de manejo.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo II	33	Las empresas o establecimientos responsables de los planes de manejo presentarán, para efectos de su conocimiento a las autoridades municipales los residuos sólidos urbanos, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y según lo determinen su Reglamento y demás ordenamientos que de ella deriven.
Título Cuarto. Capítulo III.	35	Actividades a llevarse a cabo, por parte del Gobierno Federal, los gobiernos de las entidades federativas y los municipios, en la esfera de su competencia, con el fin de promover la participación de todos los sectores de la sociedad en la prevención de la generación, la valorización y gestión integral de residuos
	36	El Gobierno Federal, los gobiernos de las entidades federativas y los municipios, integrarán órganos de consulta en los que participen entidades y dependencias de la administración pública, instituciones académicas, organizaciones sociales y empresariales que tendrán funciones de asesoría, evaluación y seguimiento en materia de la política de prevención y gestión integral de los residuos y podrán emitir las opiniones y observaciones que estimen pertinentes. Su organización y funcionamiento, se sujetarán a las disposiciones que para tal efecto se expidan.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo IV.	37	Las autoridades de los tres órdenes de gobierno, en el ámbito de sus respectivas competencias, integrarán el Sistema de Información sobre la Gestión Integral de Residuos, que contendrá la información relativa a la situación local, los inventarios de residuos generados, la infraestructura disponible para su manejo, las disposiciones jurídicas aplicables a su regulación y control y otros aspectos que faciliten el logro de los objetivos de esta Ley y los ordenamientos que de ella deriven y de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; la Ley de Transparencia y de Acceso a la Información Pública y demás disposiciones aplicables.
	39	Los tres órdenes de gobierno elaborarán, actualizarán y difundirán los inventarios de residuos sólidos urbanos de acuerdo con sus atribuciones respectivas. Además, integrarán inventarios de tiraderos de residuos o sitios donde se han abandonado clandestinamente residuos de diferente índole en cada entidad,
Título Sexto. Capítulo Único.	95	La regulación de la generación y manejo integral de los residuos sólidos urbanos se llevará a cabo conforme a lo que establezca la presente Ley, las disposiciones emitidas por las legislaturas de las entidades federativas y demás disposiciones aplicables.
	96	Acciones que deben llevar a cabo las entidades federativas y los municipios con el propósito de promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación ambiental producida por su manejo.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Sexto. Capítulo Único.	97	Las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos, en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados.
	100	Prohibiciones que pueden contener las legislaciones que expidan las entidades federativas, en relación con la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos urbanos

**Anexo 1.3.** Contenido del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos en materia de RSU (Fuente: CEUM, 2006).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero:	2	Definiciones relacionadas con el manejo de residuos.
	7	La Secretaría diseñará los criterios y la metodología para uniformar y estandarizar los instrumentos informáticos para la integración de la información que las entidades federativas y los municipios incorporarán al Sistema de Información sobre la Gestión Integral de los Residuos.
	8	La Secretaría publicará en su portal electrónico los criterios y metodología para la elaboración y actualización de los inventarios de tiraderos de residuos o sitios en donde se han abandonado clandestinamente residuos de diferente índole en cada entidad federativa y que integrarán los tres órdenes de gobierno.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero:	9	En una situación de emergencia relacionada con el manejo integral de residuos, la primera autoridad que tome conocimiento deberá notificar a las autoridades federales, estatales o municipales competentes para que éstas actúen de acuerdo con los programas establecidos en términos de lo dispuesto por la Ley General de Protección Civil y las demás disposiciones que resulten aplicables.
	12	Establece los criterios que contendrán las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría para la clasificación de los RSU sujetos a planes de manejo.
	14	El principio de responsabilidad compartida se aplicará igualmente al manejo integral de los residuos sólidos urbanos que no se encuentren sujetos a plan de manejo conforme a la Ley, este Reglamento y las normas oficiales mexicanas
	15; II-III	Las autoridades de los tres órdenes de gobierno podrán coordinarse para el ejercicio de sus atribuciones a fin de apoyar la difusión de la información necesaria que impulse la cultura de la valorización y aprovechamiento de los residuos peligrosos, de manejo especial y sólidos urbanos; y fomentar la aplicación de instrumentos voluntarios que permitan reducir la generación o buscar el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como evitar la contaminación que los mismos ocasionan.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Segundo. Capítulo I.	16	Modalidades en las que se pueden establecer los planes de manejo para residuos.
	20	El posible contenido de los planes de manejo de residuos a elaborar por los sujetos que estén obligados.
	21	Para el cumplimiento del principio de valorización y aprovechamiento de los residuos se podrá transmitir la propiedad de los mismos para ser utilizados como insumo o materia prima en otro proceso productivo y podrán considerarse como subproductos cuando la transmisión de propiedad se encuentre documentada e incluida en el plan de manejo que se haya registrado ante la Secretaría. Además, los residuos podrán ser valorizados cuando se incorporen al proceso que los generó y ello sea incluido en el plan de manejo que se haya registrado ante la Secretaría.
Título Segundo. Capítulo I.	22	Objetivos por los que la Secretaría podrá promover y suscribir convenios con el sector privado, las autoridades de las entidades federativas y municipales, así como con otras dependencias y entidades federales.
	23	La Secretaría podrá difundir a través de su portal electrónico el nombre del sujeto obligado a la formulación y ejecución del plan de manejo y los residuos objeto del plan de manejo.
Título Segundo. Capítulo IV.	31	En los sistemas de manejo ambiental deberá precisarse las responsabilidades y describirse las acciones con respecto al manejo de los residuos

**Anexo 1.4.** Contenido de la Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal en materia de RSU (Fuente: GDF, 2000).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero.	5	Se presentan definiciones adicionales a los que contienen la LGEEPA, Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley de Residuos Sólido del DF y la Ley de Aguas del Distrito Federal.
Título Segundo.	9; XII Bis.	Es atribución de la Secretaría, además de las conferidas por la Ley Orgánica de Administración Pública del Distrito Federal promover y establecer la operación del mercado de trueque, en la que los habitantes del Distrito Federal puedan intercambiar sus residuos sólidos generados y adecuadamente separados, por productos agrícolas, cultivados en el Distrito Federal.
	9; XXXVIII	La Secretaría debe integrar el registro de residuos de su competencia, cuya información se integrará con los datos e información contenida en las autorizaciones, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos, y concesiones en materia ambiental que se tramiten ante la Secretaría o autoridades competentes del Distrito Federal y sus demarcaciones territoriales.
Título Tercero. Capítulo II.	22; V	El Jefe de Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría Impulsarán el desarrollo y fortalecimiento de la cultura ambiental, a través de la realización de acciones conjuntas con la comunidad para la conservación y restauración del ambiente, el aprovechamiento racional de los recursos naturales y el correcto manejo de los residuos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo V.	36, II, IV	La Secretaría emitirá normas ambientales con el objeto de establecer: los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o disposición final de residuos sólidos; las condiciones de seguridad, requisitos y limitaciones en el manejo de residuos sólidos que presenten riesgo para el ser humano, para el equilibrio ecológico o para el ambiente.
Título Tercero. Capítulo VI.	46; XIII	Las instalaciones para el manejo de residuos sólidos requieren autorización puesto que implican o pueden implicar afectación del medio ambiente o generación de riesgos
	47; II	Para obtener autorización en materia de impacto ambiental, los interesados deberán presentar ante la Secretaría, el estudio de impacto ambiental en la modalidad, el cual deberá contener el programa para el manejo de residuos, tanto en la construcción y montaje como durante la operación o desarrollo de actividades.
	56; IV	El informe preventivo para obras y actividades en suelo urbano sujetas a la evaluación ambiental deberá contener la descripción del tipo de residuos y procedimientos para su disposición final.
Título Tercero. Capítulo VI BIS.	61 bis 1; VIII, IX c)	Para obtener la Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal, los responsables de las fuentes fijas deberán presentar a la Secretaría la solicitud correspondiente acompañada información de productos, subproductos y residuos que se generen; generación y disposición de residuos no peligrosos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo IX.	72; II	La Secretaría promoverá el otorgamiento de estímulos fiscales, financieros y administrativos a quienes realicen desarrollos tecnológicos y de ecotecnias viables cuya aplicación demuestre prevenir o reducir la producción de grandes cantidades de residuos sólidos urbanos.
Título Tercero. Capítulo XI.	76	La Secretaría desarrollará un Sistema de Información Ambiental del Distrito Federal que tendrá por objeto registrar, organizar, actualizar y difundir la información ambiental del Distrito Federal; en el cual se integrará información relativa a residuos no peligrosos.
Título Cuarto. Capítulo III.	93 Bis 1; IV	En las áreas naturales protegidas queda prohibido el depósito de residuos de cualquier tipo.
Título Cuarto. Capítulo V.	111; V	Para la conservación, restauración, protección y aprovechamiento sustentable del suelo en el territorio del Distrito Federal se considera que la acumulación o depósito de residuos constituye una fuente de contaminación que altera los procesos biológicos de los suelos.
Título Quinto. Capítulo I.	123	Todas las personas están obligadas a cumplir con los requisitos y límites la generación de residuos sólidos, de acuerdo con las disposiciones jurídicas aplicables.
Título Quinto. Capítulo II.	127	La Secretaría integrará y mantendrá actualizado un inventario de emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales, materiales y residuos.
	129	La Secretaría podrá emitir lineamientos y criterios obligatorios para que la actividad de la administración pública del Distrito Federal en materia de obra pública y de adquisiciones tome en consideración los aspectos de mínima generación de todo tipo de residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Quinto. Capítulo III. Sección IV.	150	Queda prohibida la quema de cualquier tipo de material o residuo sólido o líquido a cielo abierto salvo en algunos casos y previo aviso a la Secretaría.
Título Quinto. Capítulo V.	163, II, III	Para prevenir y controlar la contaminación del suelo: deben ser controlados los residuos que constituyan la principal fuente de contaminación de los suelos; es necesario prevenir y reducir la generación de residuos, incorporando técnicas, ecotecias y procedimientos para su reúso y reciclaje;
	164, I, III	Los criterios para la prevención y control de la contaminación del suelo deberán considerarse en la expedición de normas para el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, acopio, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos, a fin de evitar riesgos y daños a la salud y al ambiente; la generación, manejo, tratamiento y disposición final de residuos,
	166	Con el propósito de promover el desarrollo sustentable y prevenir y controlar la contaminación del suelo y de los mantos acuíferos, la Secretaría, con la participación de la sociedad, fomentará y desarrollará programas y actividades para la minimización, separación, reúso y reciclaje de residuos sólidos.
Título Quinto. Capítulo V. Sección I.	169	Prohibiciones a observar durante las diferentes etapas del manejo de residuos sólidos.
	170	Es responsabilidad de la Secretaría elaborar programas para reducir la generación de residuos.
	171	Competencias que les corresponde a la Secretaría en materia de residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Quinto. Capítulo V. Sección I.	172	Para la obtención de la autorización como generador de residuos sólidos, los interesados deberán presentar la solicitud de Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal ante la Secretaría.
	173	Obligaciones a las que estarán sujetos los responsables de contaminación del suelo durante la generación, manejo y disposición final de residuos sólidos independientemente de las sanciones penales o administrativas que procedan.
	174	Los residuos no peligrosos que sean usados, tratados o reciclados, en un proceso distinto al que los generó, dentro del mismo predio, serán sujetos a un control interno por parte del generador, de acuerdo con lo que establezca la normatividad correspondiente.
Título Sexto. Capítulo III.	200	La Secretaría establecerá los lineamientos y procedimientos para autorizar laboratorios ambientales de análisis de residuos, atendiendo las acreditaciones y reconocimientos que hayan obtenido dichos laboratorios.

**Anexo 1.5.** Contenido de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (Fuente: GDF, 2003).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero. Capítulo Único.	1	La Ley tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia.
	3	Definiciones necesarias para dicha Ley.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Segundo. Capítulo I.	5-10	Facultades correspondientes al Jefe de Gobierno, la Secretaría del Medio Ambiente de la hoy CDMX, a la Secretaría de Obras y Servicios, a la Secretaría de Salud del DF, a la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento de la CDMX y las delegaciones.
Título Segundo. Capítulo I BIS.	10 Bis	El Jefe de Gobierno creará la Comisión para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, como órgano interinstitucional de coordinación, monitoreo, seguimiento y evaluación de las políticas, acciones y programas instrumentados por la Administración Pública del Distrito Federal en materia de generación, encierro, acopio, transferencia, selección, tratamiento, manejo, aprovechamiento, valorización y disposición final de residuos.
	10 Bis 2	Facultades que le corresponden a la Comisión para la Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de México
Título Segundo. Capítulo II.	11	Criterios en los que se basará la Secretaría para formular y evaluar el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, mismo que integrará los lineamientos, acciones y metas en materia de manejo integral de los residuos sólidos y la prestación del servicio público de limpia.
	14	La Secretaría de Obras y Servicios, promoverá incentivos económicos para aquellas personas que desarrollen acciones de prevención, minimización, valorización, reutilización y reciclaje, así como para la inversión en tecnología y utilización de prácticas, métodos o procesos que coadyuven a mejorar el manejo integral de los residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Segundo. Capítulo II.	15	En aquellos casos en que sea técnica y económicamente factible, la o el Jefe de Gobierno del Distrito Federal, promoverá la creación de mercados de subproductos que establezcan mecanismos que involucren la participación de los productores, distribuidores, comercializadores y consumidores en la valorización de los materiales y productos que se conviertan en residuos sólidos.
	15 Bis	La Secretaría promoverá e implementará la formación y operación de sistemas y mecanismos de intercambio de residuos sólidos generados por los habitantes del Distrito Federal, por productos agrícolas que provean los productores autorizados por aquélla.
	16	Los programas de educación formal y no formal que desarrollen o fomenten los centros o instituciones educativas de competencia del Distrito Federal, así como las asociaciones o instituciones legalmente constituidas, establecerán mecanismos orientados a fomentar una cultura de manejo integral de los residuos sólidos que promuevan, además, la separación seleccionada de dichos residuos y su valorización.
	17	Los programas de difusión en materia ambiental de la Secretaría y de las delegaciones incluirán campañas periódicas para fomentar la reducción de la cantidad y peligrosidad, la separación obligatoria y la valorización de los residuos sólidos.
	18	Acciones mediante las cuales la Secretaría, la Secretaría de Obras y Servicios y las delegaciones promoverán la participación de todos los sectores de la población en programas en materia de residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Segundo. Capítulo II.	19	Las autoridades sistematizarán y pondrán a disposición del público la información obtenida en el ejercicio de sus funciones vinculadas a la generación y manejo integral de los residuos sólidos, y la prestación de los servicios de limpia a su cargo.
Título Tercero. Capítulo I.	21	Toda persona que genere residuos sólidos tiene la propiedad y responsabilidad del manejo integral de estos, así como de los perjuicios y daños que puedan ocasionar, hasta el momento en que son entregados al servicio de recolección, o depositados en los contenedores o sitios autorizados para tal efecto por la autoridad competente.
	22	Para la prevención de la generación, valorización y manejo de los residuos sólidos, se incluirá en el reglamento las disposiciones para formular planes de manejo, guías y lineamientos para generadores de alto volumen de los residuos sólidos.
	23	Disposiciones que deben cumplir las personas físicas o morales responsables de la producción, recolección, manejo, tratamiento, reciclaje, reutilización, distribución o comercialización de bienes que, una vez terminada su vida útil, originen residuos sólidos en alto volumen, de manejo especial o que produzcan desequilibrios significativos al medio ambiente.
	24	Responsabilidades, en materia de residuos sólidos, de toda persona, física o moral, en el Distrito Federal.
	25	Prohibiciones alrededor de la disposición de residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo I.	26	Los propietarios, directores responsables de obra, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables solidarios en caso de provocarse la diseminación de materiales, escombros y cualquier otra clase de residuos sólidos, así como su mezcla con otros residuos ya sean de tipo orgánico o peligrosos.
Título Tercero. Capítulo II.	27	Finalidades bajo las que la Secretaría elaborará y mantendrá actualizado un inventario que contenga la clasificación de los residuos sólidos y sus tipos de fuentes generadoras.
	28	Características físicas, químicas o biológicas por las cuales se pueden categorizar los residuos sólidos.
Título Tercero. Capítulo III.	29	Clasificación de los residuos sólidos para efectos de la ley.
	30	Definición de residuos urbanos.
Título Tercero. Capítulo IV.	33	Todo generador de residuos sólidos debe separarlos en orgánicos e inorgánicos, dentro de sus domicilios, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones públicas y privadas, centros educativos y dependencias gubernamentales y similares, para ello deberán separar sus residuos sólidos de manera diferenciada y selectiva,
	33 Bis	La Secretaría y las delegaciones deberán aplicar el método de separación de residuos en orgánicos e inorgánicos y de manera selectiva para el servicio de recolección, la cual será diferenciada conforme a los criterios señalados por las autoridades.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo IV.	33 Bis 1	La Secretaría y la Secretaría de Obras y Servicios, en conjunto con las delegaciones, fomentarán que las instituciones educativas, empresas, establecimientos mercantiles, industriales y de servicios, instituciones públicas y privadas, centros educativos y dependencias gubernamentales y similares, lleven a cabo la separación de residuos, mediante el sistema de recolección diferenciada y selectiva.
	34	La Secretaría de Obras y Servicios y las delegaciones instrumentarán los sistemas de depósito y recolección separada de los residuos sólidos, así como de aprovechamiento, tratamiento y disposición final, de conformidad con lo señalado en el Reglamento y el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos.
Título Cuarto. Capítulo I.	36	Actividades que comprende el servicio público de limpia, el cual estará a cargo de la Administración Pública del Distrito Federal, a través de la Secretaría de Obras y Servicios y las Delegaciones.
Título Cuarto. Capítulo II.	38	Todo generador de los residuos sólidos tiene la obligación de entregarlos al servicio de limpia; la recolección se realizará de manera gratuita excepto en caso de generadores de altos volúmenes, quienes deberán pagar las tarifas correspondientes por los servicios de recolección y recepción.
	39	Los camiones recolectores de los residuos sólidos, así como los destinados para la transferencia de dichos residuos a las plantas de selección y tratamiento o a los sitios de disposición final, deberán disponer de contenedores seleccionados conforme a la separación selectiva.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo II.	40-42	Sobre el mantenimiento, responsabilidad y manejo de contenedores que as delegaciones dispondrán para el depósito de los residuos sólidos de manera separada en aquellos sitios que por su difícil accesibilidad o por su demanda así lo requiera, procediendo a su recolección
Título Cuarto. Capítulo III.	43	La Secretaría de Obras y Servicios diseñará el sistema de transferencia, selección y tratamiento de los residuos sólidos, procurando la construcción y operación en número suficiente en cada delegación conforme a la cantidad de residuos que se generan en cada demarcación territorial, contando con el personal suficiente para su manejo.
	45	Requerimientos necesarios para la operación y mantenimiento de las estaciones de transferencia y plantas de selección y tratamiento, así como centros de composteo,
	46	Las plantas de selección y tratamiento de los residuos sólidos que pertenezcan al Distrito Federal, deberán contar con la infraestructura tecnológica de vanguardia necesaria, para la realización del trabajo especializado que permita generar energía renovable y limpia.
	48	Requisitos que deben cumplir las instalaciones de tratamiento térmico
Título Cuarto. Capítulo IV.	49	Los residuos sólidos que no puedan ser tratados por medio de los procesos establecidos por esta Ley, deberán ser enviados a los sitios de disposición final.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo IV.	51	Los sitios de disposición final tendrán un acceso restringido a materiales reutilizables o reciclables y deberá recibir un menor porcentaje de residuos orgánicos. Además, emplearán mecanismos para instalar sistemas de extracción de biogás y tratamiento de lixiviados para su recolección.
	52	Queda prohibida la selección o pepena de los residuos sólidos en los sitios destinados para relleno sanitario.
	54	Los rellenos sanitarios que hayan cumplido su vida útil se destinarán únicamente como parques, jardines, centros de educación ambiental o sitios para el fomento de la recreación y la cultura.
Título Quinto. Capítulo I.	55	Los productores y comercializadores cuyos productos y servicios generen residuos sólidos susceptibles de valorización mediante procesos de reutilización o reciclaje realizarán planes de manejo que establezcan las acciones para minimizar la generación de sus residuos sólidos, su manejo responsable y para orientar a los consumidores sobre las oportunidades y beneficios de dicha valorización para su aprovechamiento.
	56	La Secretaría de Obras y Servicios, en coordinación con la Secretaría y la Secretaría de Desarrollo Económico, en cumplimiento a lo señalado en el programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, instrumentarán programas para la utilización de materiales o subproductos provenientes de los residuos sólidos a fin de promover mercados para su aprovechamiento, vinculando al sector privado, organizaciones sociales y otros agentes económicos.
	59	Requisitos que deben cumplir los establecimientos que se dediquen a la reutilización o reciclaje de los residuos sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Quinto. Capítulo I.	60	Los residuos sólidos que hayan sido seleccionados y remitidos a los mercados de valorización y que por sus características no puedan ser procesados, deberán enviarse para su disposición final.
Título Quinto. Capítulo II.	61	La Secretaría de Obras y Servicios diseñará, construirá, operará y mantendrá centros de composteo o de procesamiento de residuos urbanos orgánicos.
	62	La Secretaría de Desarrollo Económico, en coordinación con la Secretaría de Obras y Servicios y con las delegaciones que tengan autorización de operar centros de composteo, promoverá el fomento de mercados para la comercialización del material que resulte de los composteos.
	63	Los controles sobre las características apropiadas de los materiales para la producción de composta o criterios para cada tipo de composta, se fijarán en el reglamento, debiendo identificar las particularidades de los tipos de que por sus características pueda ser comercializada o donada. La composta que no pueda ser aprovechada deberá ser enviada a los rellenos sanitarios para su disposición final.
Título sexto. Capítulo Único.	65	Es responsabilidad de toda persona que genere y maneje residuos sólidos, hacerlo de manera que no implique daños a la salud humana ni al ambiente; en caso de haberlos deberá llevar a cabo acciones para restaurar o recuperar las condiciones del suelo o en su defecto indemnizar por los daños causados a terceros o al ambiente.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Séptimo. Capítulo II.	67; II	Los infractores de la presente Ley serán sancionados cuando el generador o poseedor de los residuos, o prestador del servicio, los entregue a persona física o jurídica distinta de las señaladas en esta Ley.
Título Séptimo. Capítulo IV.	75	Toda persona, grupos sociales, organizaciones no gubernamentales, asociaciones y sociedades podrán denunciar ante la Procuraduría y autoridades competentes todo hecho, acto u omisión que produzca o pueda producir desequilibrio ecológico o daños al ambiente o a los recursos naturales derivados del manejo inadecuado de los residuos sólidos.

\*Cuando se hace mención de la *Secretaría* se refiere a la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal.

**Anexo 1.6.** Contenido del Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (Fuente: GDF, 2003).

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Primero. Capítulo Único.	2	Definiciones adicionales a las contenidas en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.
Título Segundo. Capítulo I.	3	Objetivos a los que aspira la política ambiental en materia de residuos sólidos.
Título Segundo. Capítulo II	4	Para la elaboración del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Obras elaborará un documento base que se someterá a consideración de las Delegaciones y de la Comisión.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Segundo. Capítulo II	4	Para la elaboración del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Obras elaborará un documento base que se someterá a consideración de las Delegaciones y de la Comisión,
	5	El Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos será revisado y actualizado en su totalidad cada cinco años, y podrá ser modificado cuando lo considere conveniente la Secretaría o la Secretaría de Obras.
	6 y 7	Lineamientos que deberá contener el Programa para la Prestación del Servicio Público de Limpia y los programas delegacionales para la prestación de dicho servicio.
Título Segundo. Capítulo III.	9	Aspectos que deben ser considerados para la elaboración, aprobación y expedición de las normas ambientales en materia de gestión integral de residuos.
Título Segundo. Capítulo IV.	10	Actividades que deberán promover las autoridades ambientales, en materia de gestión integral de residuos sólidos.
Título Tercero. Capítulo I.	11	La propiedad y responsabilidad del manejo de los residuos sólidos corresponde al generador, la cual sólo se transfiere a la Secretaría de Obras, a la Delegación o a las personas físicas o morales autorizadas, al momento de depositarlos en los contenedores o papeleras dispuestas para el efecto o en los sitios autorizados por la autoridad competente, o bien, al entregarlos al servicio de limpia y recolección, y se trate de residuos sólidos separados.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo II.	12	Categorías en las que se dividen los establecimientos industriales, mercantiles y de servicios que estén obligados a presentar planes de manejo.
	17	Los establecimientos industriales, mercantiles y de servicios que tengan por alguna actividad excepcional, una generación eventual de residuos sólidos o de manejo especial en alto volumen deberán presentar su plan de manejo específico en el formato que la Secretaría determine.
	18	En el caso de centros o plazas comerciales y establecimientos mercantiles y de servicios que compartan un mismo inmueble y que manejen en conjunto sus residuos sólidos, podrán presentar un solo plan de manejo, debiendo especificar los establecimientos que intervienen en él.
	19	Los establecimientos mercantiles y de servicios que operen sobre la base de franquicias o sucursales, podrán presentar un solo plan de manejo, debiendo indicar quienes intervienen en él y el sitio de destino final de los residuos para cada uno de ellos.
	21-24	Contenido de los planes de manejo de categoría A, B y C; categoría D; categoría RE y categoría ERR.
Título Tercero. Capítulo III.	26	Contenido mínimo de los inventarios.
Título Tercero. Capítulo V.	32	Clasificación de los residuos sólidos urbanos en orgánicos e inorgánicos y subclasificación de cada uno.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Tercero. Capítulo V.	33	Los generadores de residuos sólidos deberán disponer de contenedores diferenciados y aptos para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; así como tomar las prevenciones necesarias para evitar la mezcla de los mismos en la fuente de generación, su almacenamiento temporal o la entrega al servicio de limpia.
	34	Las Delegaciones deberán separar los residuos orgánicos provenientes de poda y del mantenimiento de parques y jardines y entregarlos separados, libres de residuos inorgánicos, en las estaciones de transferencia.
	35	Las Delegaciones y los particulares deberán entregar los residuos separados
Título Cuarto. Capítulo I.	37	La Secretaría de Obras y las Delegaciones cuidarán que en la prestación del servicio público de limpia a su cargo, no se mezclen los distintos tipos de residuos sólidos separados previamente en la fuente de origen durante su recolección, transferencia o tratamiento.
Título Cuarto. Capítulo II.	39	Casos en los que es responsabilidad de las personas físicas y morales mantener limpio de residuos sólidos el (los) frente(s) de sus viviendas, establecimientos industriales, mercantiles o de servicios,
	40	Las papeleras colocadas por la Secretaría de Obras o por las Delegaciones en la vía pública, están reservadas para recibir residuos sólidos generados en la misma vía pública por los transeúntes. Queda prohibido depositar en ellas residuos sólidos generados dentro de inmuebles, producto de actividades domésticas, industriales, comerciales o de servicios de la zona.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo II.	41	Las papeleras deberán diferenciarse según el tipo de residuos para los que estén destinados a recibir, identificándose con la leyenda "residuos orgánicos" y "residuos inorgánicos", preferentemente diferenciados en color verde y color gris, respectivamente.
	44	Los vehículos del servicio público de limpia, deberán transportar solamente un tipo de residuos sólidos o bien, tratarse de vehículos con doble compartimento para evitar que los mismos se mezclen. Al momento de la recolección, los trabajadores de limpia verificarán la separación de los residuos orgánicos de los inorgánicos, con el fin de depositarlos separados en el compartimento correspondiente; o en el caso de recolectar un solo tipo, no recibirlos mezclados. La Delegaciones tendrán a su cargo la recolección de los residuos sólidos en los mercados públicos, paraderos y tianguis de su demarcación.
	45	En lugares de difícil acceso para los vehículos recolectores del servicio público de limpia, se podrán instalar contenedores en la vía o áreas públicas determinadas por las Delegaciones, con compartimentos separados o en su totalidad destinados a recibir cada uno de los tipos de residuos sólidos.
	46	Los usuarios del servicio público de limpia avecindados en la cercanía de los lugares de difícil acceso para los vehículos recolectores del servicio de limpia deberán depositar sus residuos sólidos separados en los contenedores

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Cuarto. Capítulo III.	48	El ingreso de vehículos privados y que depositen residuos sólidos en las estaciones de transferencia, plantas de selección y tratamiento y sitios de disposición final, sólo podrán realizarlo mediante autorización expresa de la Secretaría de Obras y la exhibición del comprobante de pago de los derechos correspondientes, la carta responsiva, así como el cumplimiento de las indicaciones internas de estos centros o instalaciones.
	49	El tiempo de permanencia máximo de los residuos sólidos en las estaciones de transferencia será de 24 horas.
	50	El sistema de transferencia asignará cajas para el transporte separado de los residuos sólidos.
	51	Las plantas de selección y tratamiento de residuos sólidos construidas y por construir por la Secretaría de Obras, podrán ser operadas y/o concesionadas a particulares.
	52	La Secretaría de Obras autorizará y registrará a los establecimientos mercantiles y de servicios, relacionados con la recolección, manejo, tratamiento, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos sólidos.
Título Quinto. Capítulo I	54	El aprovechamiento, la reutilización y el reciclaje serán los procesos preferibles para la reducción de los residuos sólidos.
	55	Elementos a considerar en la formulación de los Sistemas de Manejo Ambiental de los Residuos Sólidos.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Quinto. Capítulo I	58	La Secretaría conjuntamente con Secretaría de Obras y la Secretaría de Desarrollo Económico, identificarán el tipo de residuos que son susceptibles de ser reciclados y que en la actualidad no tienen un mercado, promoviendo la apertura de estos con el Sector Industrial.
	59	La Secretaría, la Secretaría de Obras y las Delegaciones promoverán la instalación de centros de acopio de residuos reusables o reciclables en el territorio del Distrito Federal.
Título Quinto. Capítulo II.	61	La Secretaría, la Secretaría de Obras y las Delegaciones, promoverán la instalación de centros de composteo de los residuos orgánicos, en los centros de generación de alto volumen.
	62	Los residuos orgánicos generados por las actividades de poda o mantenimiento de camellones, parques y jardines deberán ser procesados en centros de composteo.
	63	Durante las actividades de poda o mantenimiento de parques y jardines se deberán considerar la reducción del volumen y la optimización del transporte mediante la trituración en sitio de los residuos, como parte de las actividades realizadas.
	65	Tipos de residuos orgánicos considerados adecuados para la elaboración de composta.
Título Quinto. Capítulo III.	67	Serán enviados al sitio de disposición final los residuos orgánicos separados en la fuente de origen que se consideren no aptos para ser procesados en los centros de composteo, los que excedan la capacidad de procesamiento en dichos centros, así como el material procesado que no reúna características para ser utilizados en las áreas verdes.

<b>Sección</b>	<b>Artículo y fracción.</b>	<b>Contenido</b>
Título Quinto. Capítulo III.	68	Serán enviados al sitio de disposición final los residuos sólidos potencialmente reciclables que no puedan ser separados del resto de los residuos sólidos, tanto en la fuente de origen como en las plantas de selección, así como aquellos que una vez separados no puedan ser reincorporados a los procesos productivos.
Título Sexto. Capítulo Único.	71	Elementos que se deben tomar en cuenta para la determinación de la contaminación del suelo, subsuelo y manto acuífero somero, causada por el manejo inadecuado de residuos sólidos y será realizada por los particulares a solicitud de la Secretaría.
Título Séptimo. Capítulo I	72	Toda persona física y moral podrá denunciar ante la Procuraduría cualquier hecho, acto u omisión que produzca o pueda producir desequilibrio ecológico o daños al ambiente o a los recursos naturales, derivado del manejo inadecuado de los residuos sólidos.
	74	La Procuraduría podrá llevar a cabo investigaciones de oficio, cuando a su juicio, existan actos, hechos u omisiones que puedan constituir incumplimiento o falta de aplicación de las disposiciones contenidas en la Ley, en el presente Reglamento y en los demás ordenamientos en materia de residuos sólidos.
Título Octavo. Capítulo II.	78-80	Vigilancia e inspección que son injerencia de la Secretaría, la Secretaría de Obras, las delegaciones,
	97	La inspección y vigilancia que realicen las Delegaciones en la prestación del servicio público de limpia se realizará a partir de la entrega de los residuos urbanos por parte de los generadores.